1SSN-0571-7132

ВЫПУСК 4

# иислибрдрчи астрофизика

НОЯБРЬ, 1982

**TOM 18** 

ВИРИАЛЬНАЯ МАССА И СВЕТИМОСТЬ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК В ДЕВЕ И. Д. Караченцев	501
НОВЫЕ ГАЛАКТИКИ С UV-ИЗБЫТКОМ. IV	
М. А. Казарян, Э. С. Казарян	512
АУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ГАЛАКТИК В ОКРЕСТНОСТЯХ ГРУПП ГАЛАК- ТИК. 1 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	523
АУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ГАЛАКТИК В ОКРЕСНОСТЯХ ГРУПП ГАЛАК- ТИК. II • • • • • • • • • • • • • • • • • •	533
О МАРКАРЯН 6 И ВОПРОС О ПРОМЕЖУТОЧНОМ КЛАССЕ Sy 1.5 Э. Е. Хачикян, В. Н. Попов, А. А. Егиазарян	541
К ВОПРОСУ О СВЯЗИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК С СОСЕДНИМИ ОБЪЕКТАМИ	548
O VACIOTE BUILLER UBEPAHOBBIX B TAAAKTIKAA THITA Se P. T. Mhauakanan	563
	574
АНОМАЛЬНЫЕ ПОКРАСНЕНИЯ СВЕРАНОВЫХ ВВЕЗД • • • М. Иызнээр	574
ФУНКЦИЯ РАДИОСВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК Р. А. Кандалян	580
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ СПИРАЛЬ- НОЙ СТРУКТУРЫ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИКАХ В. И. Корчанин, Ю. Г. Шевелев	589
АТМОСФЕРА КАНОПУСА. II. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ, РАДИУСА, СВЕТИМОСТИ И ВОЗРАСТА Л. С. Любимков, А. А. Боярчик	596
ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНИИ ПРИ ЧАСТИЧНОМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ПО ЧАСТОТЕ	
Д. И. Назирнер	608
(Продолжение на 4-й странице обложки)	

#### EPEBAH

#### Խմբագրական կոլեգիա

Գ. Ս. Բիսնովատի-Կոգան, Ա. Ա. Բոյարչուկ, Վ. Գ. Գորբացկի, Հ. Մ. Թովմասյան, Ի. Մ. Կոպիլով, Վ. Հ. Համբարձումյան (գլխավոր խմբագիր), Բ. Ե. Մարգարյան, Լ. Վ. Միրգոյան (գլխ. խմբագրի տեղակալ), Գ. Ս. Սանակյան, Լ. Ի. Սեղով, Վ. Վ. Սոբոլև (գլխ. իմբագրի տեղակալ), Ա. Տ. Քավլօղլյան (պատ. քարտուղար)

#### Редакционная коллегия

В. А. Амбарцумян (главный редактор), Г. С. Бисноватый-Коган, А. А. Боярчук,

В. Г. Горбацкин, А. Т. Каллоглян (ответственный секретарь), И. М. Копылов,

Б. Е. Маркарян, Л. В. Мирзоян (зам. главного редактора), Г. С. Саакян, Л. И. Седов, В. В. Соболев (зам. главного редактора), Г. М. Товмасян

«АСТРОФИЗИКА» — научный журнал, издаваемый Академией наук Армянской ССР. Журпал печатает оригинальные статьи по физике звезд, физике туманностей и межзвездной среды, по звездной и внегалактической астрономии, а также статьи по областям науки, сопредельным с астрофизикой.

Журнал предлазначается для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов.

Журнал выходит 4 раза в год, цена одного номера 1 р. 40 к., подписная плата за год 5 р. 60 к. Подписку можно произвести во всех отделениях Союзпечати, а за границей через агентство «Международная книга», Москва, 200.

«ԱՍՏՂԱՖԻՋԻԿԱ»-Ն զիտական նանդես է, ուր ճռատառակվում է Հայկական ՍՍՀ Գիտուբյունների ակադեմիայի կողմից։ Հանդեսը տպազբում է ինքնատիպ նողվածեր աստղերի դիզիկայի, միզամածությունների ու միջաստղային մի ավտյրի ֆիզիկայի, աստղաբաշխության և առտագալականկական աստղագիտության, ինչպես նաև աստղաֆիզիկային սաճմանակից բնագավառևերի գծով։

Հանդեսը նախատեսված է գիտական աշխատակիցների, ասպիրանտների և բարձր կուրսերի ուսանոցների նամար։

Հանդեսը լույս է տեսնում տաշեկան 4 անդամ, 1 նամաշի աշժեքն է է ռ. 40 կ., բաժանոշղացինը 5 ս. 60 կ. մեկ տաշվա նամաշ։ Բաժանոշղագշվել կաշելի է «Սոյուզպեշատ»-ի բոլոշ բաժանմունքներում, իսկ աշտասանմանում՝ «Մեժղունաշողնայա կնիզա» զործակալության միջոցով, Մոսկվա, 200.

#### © Издательство АН Арм.ССР, Астрофизика, 1982

# АСТРОФИЗИКА

# **TOM 18**

НОЯБРЬ, 1982

ВЫПУСК 4

УДК 524.77—333—33

# ВИРИАЛЬНАЯ МАССА И СВЕТИМОСТЬ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК В ДЕВЕ

#### И. Д. КАРАЧЕНЦЕВ Поступила 22 февраля 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Новые измерения лучевых скоростей и видимых величин галактик в скоплении Девы [2] использованы для опредсления основных динамических парамстров системы. В пределах  $r < 6^{\circ}$  от центра скопления приведены зависимости дисперсии лучевых скоростей от раднуса r и от видимой величины галактик  $m_B$ . Функция светимости скопле ния определена в диапазоне [ $-22^m < M < -13^m$ ]. Отношение вириальной массы к светимости у скопления в Деве составляет  $f = 396 \int_{0}^{\infty}$ . Для поперечной компоненгы скорости Галактики относительно скопления получена оценка  $V_f = (530 \pm 980)$  км/с.

1. Введсние. Наблюдательные данные для изучения кинематики ближайшето к нам скопления галактик в Деве пополнялись весьма медленными темпами, несмотря на видимую яркость многих его членов. Только в последние годы были предприняты целенаправленные усилия увеличить число измеренных лучевых скоростей у галактик в этом скоплении [1, 2]. Даже сейчас скопление в Деве уступает по количеству известных лучевых скоростей некоторым более далеким скоплениям. Сложившаяся ситуация вызывает удивление, частично она объяснима неопределенностью границ и, как считают некоторые авторы [3, 4], комплексной («облачной») структурой скопления в Деве. Согласно установившемуся мнению, скопление в Деве представляет собой наиболее плотную часть (ядро) Местного сверхскопления галактик. Подробное описание трехмерной структуры Местного сверхскопления содержится в недавней работе Тулли [5].

Подчеркнем, что исследование скопления в Деве открывает уникальную возможность проследить, как меняются кинематические параметры системы в зависимости от массы (светимости) ее членов в диапазоне почти четырех порядков.

В этой статье на более полном, чем ранее, наблюдательном материале сделаны оценки основных динамических характеристик скопления в Девс, в том числе дисперсии лучевых скоростей, профиля плотности, а также функции светимости скопления. Динамический центр скопления Девы мы отождествляем с рентгеновской и радиогалактикой NGC 4486, а границей скопления считаем по Сэндейджу и Тамманну [6] круг радиусом  $r = 6^\circ$ .

2. Средняя лучевая скорость. Указанная область содержит  $n_v = 293$ галактики с измеренными лучевыми скоростями. Данные о скоростях были взяты из следующих источников: 102 — из списка Караченцева и Караченцевой [2], 98 — из сводного каталога Рууда [7], 43 — из обзора эллиптических галактик Тонри и Дэвиса [8], 31 — из Реферативного каталога Вокулеров [9], 10 и 9, соответственно, из статей Сулентика [10] и Истмонда, Эйбелла [1]. Отметим, что некоторые измерения Сулентика отличаются от данных других авторов на  $\Delta V \ge$  1000 км/с (см. [2]). Поэтому мы использовали оценки Сулентика лишь в случаях, когда отсутствовала информация из иных источников.

Среди 293 галактик 68 имеют лучевые скорости  $V_0 > 4200$  км/с, что позволяет отнести их к объектам дальнего фона. Распределение остальных 225 галактик по значениям исправленной (за движение Солнца) лучевой скорости приведено на рис. 1. Полное отсутствие галактик в интервале  $V_0 = (2500 \pm 4200)$  км/с дает достаточно высокую гарантию того, что рассматриваемая ниже выборка не засорена объектами фона.



Рис. 1. Распределение 225 галактик в Деве по исправленным за движение Солица лучевым скоростям.

Среднее значение лучевой скорости у членов скопления Девы составляет  $\langle V_0 \rangle = +1009 \pm 50$  (км/с). Распределение N(V) является вполне симметричным относительно  $\langle V_0 \rangle$ , поэтому все галактики с отрицательными лучевыми скоростями следует считать реальными членами скопления. Это заключение согласуется с данными определения у галактик с V < 0 модулей расстояния по полуширине линии 21 см [11].

#### СКОПЛЕНИЕ ГАЛАКТИК В ДЕВЕ

Эдесь мы не касаемся возможных различий в  $\langle V_0 \rangle$  для галактик с разными морфологическими типами и разными наклонами плоскостей к лучу эрения. Указания на такие различия в литературе встречаются [3, 6, 12]. Соответствующий анализ будет сделан после уточнения морфологических типов галактик в скоплении Девы.

				Таблица 1
Г	R <sub>p</sub>	< V <sub>0</sub> > км/с	± •	$\langle \sigma_{p}^{2} \rangle^{1/2}$ KM/C
0 -0 <sup>0</sup> 5	7	+1350	+250	620
0.5-1.0	19	820	160	690
1.0-1.5	27	830	160	810
1.5-2.0	20	1000	200	880
2.0-2.5	13	۱030	270	910
2.5-3.0	20	810	180	750
3.0-3.5	28	1120	150	760
3.5-4.0	23	850	150	690
4.0-4.5	22	1430	150	690
4.5-5.0	18	1300	220	880
5.0-5.5	12	1040	100	330
5.5-6.0	16	1240	140	520
6.0-7.0	10	1520	250	750

В табл. 1 приведены числа галактик с измеренными скоростями,  $n_v$ , и средние значения  $\langle V_0 \rangle$  со стандартными ошибками среднего для кольцевых зон с шагом  $\Delta r = 0^{\circ}5$ . Последняя строка относится к 10 галактикам в углах квадрата, в котором вписан круг  $r = 6^{\circ}$ . Данные таблицы обнаруживают слабую тенденцию к возрастанию средней лучевой скорости галактик от центра к периферии. Эффект более отчетлив на рис. 2, где показано изменение среднего расстояния от центра для галактик с разными лучевыми скоростями. Для втой особенности мы не смогли найти достаточно очевидного объяснения.

3. Дисперсия лучевых скоростей. Распределение дисперсии лучевых скоростей галактик вдоль раднуса скопления приведено в последнем столбце табл. 1. На рис. 3 эти данные изображены прямоугольниками, высота которых соответствует стандартной ошибке среднего. Зависимость  $\langle \sigma_{v}^{2} | r \rangle^{1/2}$  позволяет в принципе определить преобладающий тип движений галактик в скоплении. Такая задача была решена Караченцевым, Зонном и Щербановским [13] для случаев строго круговых и строго радиальных движений у членов сферически симметричного скопления. Соответствующие регрессии  $\langle \sigma_{e}^{2} | r \rangle^{1/2}$  показаны на рис. З сплошной и пунктирной линиями. Сравнение их с данными наблюдений показывает, что движение галактик в скоплении Девы носит промежуточный характер между двумя крайними случаями.



Рис. 2. Среднее угловое расстояние от центра для галактик с различными лучевыми скоростями.



Рис. 3. Распределение дисперсии лучевых скоростей галактик вдоль раднуса скопления. Прямоугольники с точками — данные наблюдений, сплошная и пунктирияя ливии соответствуют регрессиям для строго круговых и строго радиальных движений галактик в скоплении.

Важную информацию о динамической истории скопления может содержать зависимость дисперсии скоростей галактик от их массы или видимой величины. Наблюдательные данные (рис. 4) обнаруживают тенденцию к возрастанию  $\sigma_o^2$  при переходе от гигантских галактик к карликовым. По-видимому, скопление проявляет начальные признаки релаксации в иррегулярном поле, когда между членами системы разной массы устанавливается равнораспределение по энергиям.



Рис. 4. Зависимость дисперсии лучевых скоростей от видимой величины галактики

Первая точка на рис. 4 с  $\sigma_v = (117 \pm 46)$  км/с относится к трем ярчайшим вллиптическим галактикам: NGC 4472, 4486, 4649. Малое значение их пекулярных скоростей может отражать эффект слияния наиболее массивных членов скопления под воздействием динамического трения [14]. Однако для объяснения величины  $\sigma_v = 117$  км/с необходимо предположить, что каждая из трех гигантских галактик испытала уже около 40 слияний. Если такое предположение правильно, то частые слияния массивных галактик, вероятно, происходили на ранней фазе формирования скопления.

Для оценки вириальной массы скопления важно знать полную дисперсию скоростей галактик. Усреднение по всем членам скопления дает величину  $\sigma_v = 744$  км/с, а среднее взвешенное по светимости —  $\langle \sigma_v \rangle_L = = 717$  км/с.

4. Профиль плотности скопления. Потенциальную энергию скопления U удобно определять через распределение плотности, спроектированное на произвольную ось y, которая пересекает центр скопления [15]. В предположении сферической симметрии системы

$$U = -2 \operatorname{i} \mathfrak{M}^2 \int_{0}^{\infty} [\varphi(y)]^2 \, dy, \qquad (1)$$

где  $\mathfrak{M}$  — полная масса скопления,  $\gamma$  — постоянная тяготения, а  $\varphi(y)$  — плотность распределения массы вдоль y.

#### И. Д. КАРАЧЕНЦЕВ

Для определения  $\varphi(y)$ , были выполнены подсчеты числа галактик в полосах шириной 1° при ориентации оси у вдоль двух взаимно перпендикулярных направлений (по  $\alpha$  и по  $\delta$ ). В подсчетах использовались только те галактики, чья принадлежность к скоплению подтверждена их лучевыми скоростями. Результаты приведены на рис. 5 точками. Данные подсчетов удовлетворительно представляются распределением

$$\varphi(y) = (\mathfrak{M}/2) \cdot \langle y \rangle^{-1} \exp\{-y/\langle y \rangle\}, \qquad (2)$$

где < y > = 2<sup>0</sup>06. При этом выражение для потенциальной энергии имеет весьма простой вид

$$U = -\gamma \mathfrak{M}^2/4 \langle y \rangle. \tag{3}$$

5. Функция светимости. В границах  $r < 6^{\circ}$  скопление Девы часчитывает 575 галактик ярче предела каталога Цвикки [16]  $m = 15^m$ 7. Разумеется, не все эти галактики принадлежат скоплению. Для определения функции светимости мы использовали переход от видимых величин Цвикки к системе  $m_B$ , выполненный Вокулером и Пенсе [17]. В табл. 2 приведено относительное число галактик, являющихся членами скопления



Рис. 5. Одномерное распределение плотности в скоплении Девы. Точками обозначены подсчеты числа галактик в полосах вдоль з и б.

m <sub>B</sub>	9 Virga
<13 <sup>m</sup>	1.0
13.0-13.5	0.93
13.5-14.0	0.94
14.0-14.5	0,80
14.5-15.0	0.57
15.0-15.5	0.45
15.5-16.0	0.50
16.0-16.5	0.33
16.5-17.0	0.37
17.0-17.5	0.25
17.5-18.0	0.22
18.0-20.0	0.16

Таблица 2

в Деве, в зависимости от их видимой величины  $m_B$ . Оценки  $q_{Virgo}(m)$  сделаны по выборке объектов с измеренными лучевыми скоростями. Для галактик слабее  $15^m$ 7 значения  $m_B$  были взяты из [2]. С учетом множителя  $q_{Virgo}(m)$  распределение интегрального числа галактик в Деве ярче видимой величины  $m_B$  изображено на рис. 6. Ромбиком 

Рис. 6. Функция светимости скопления в Деве. Точки — интегральные числа галактик ярче видимой величины  $m_B$  из каталога Цвикки, ромбик — данные Ликских подсчетов. Шкала абсолютных величин соответствует расстоянию до скопления D = 19 Мпс.

Расстояние до скопления в Деве D = 19 Мпс определялось Кенникутом [19] по размерам Н II областей. Принимая поправку за межзвездное поглощение 0<sup>m</sup>22 и D = 19 Мпс, мы вычислили интегральную светимость скопления:  $L_B = 2.42 \cdot 10^{12} L_{\odot}$ . Отсутствие надежных данных о числе карликовых членов скопления с  $m > 18^m 6$  (или  $M > -13^m 0$ ) не должно сильно влиять на оценку  $L_B$ , так как более половины интегральной светимости скопления приходится на галактики ярче  $12^m 0$ .

6. Отношение вириальной массы к светимости. Из теоремы о внриале для стационарной системы имеем с учетом (3):

$$3 \langle \sigma_{\mathcal{V}}^2 \rangle \mathfrak{M} = \gamma \mathfrak{M}^2 / 4 \langle y \rangle, \qquad (4)$$

откуда полная вириальная масса скопления

$$\mathfrak{M} = 12 \operatorname{grad}(\mathfrak{s}_{\mathcal{U}}^2) \langle \mathfrak{g} \rangle.$$
<sup>(5)</sup>

При расстоянии до скопления D = 19 Мпс его эффективный размер составляет  $\langle y \rangle = 2^{\circ}06 = 0.683$  Мпс. Принимая во внимание ошибки измерения лучевых скоростей (~ 100 км/с), для взвешенной по светимости дисперсии лучевых скоростей имеем  $\sigma_V = 710$  км/с, что дает значение вириальной массы.

$$\mathfrak{M} = 9.60 \cdot 10^{11} \mathfrak{M}_{\odot}.$$
 (6)

В литературе нам встретились две оценки вириальной массы скопления в Деве. Согласно [20]  $\mathfrak{M} = 9.8 \cdot 10^{14} \mathfrak{M}_{\odot}$ , при этом границы скопления предполагались более широкими ( $r < 10^{\circ}$ ). Для стандартной области  $r < 6^{\circ}$  и D = 19 Мпс Хофман и др. [21] получили значение  $\mathfrak{M} = 7.6 \cdot 10^{14} \mathfrak{M}_{\odot}$ , моделируя эволюцию скопления с помощью набора концентрических гравитирующих оболочек. Все три оценки, как видим, хорошо согласуются друг с другом. Величине (6) соответствует отношение вириальной массы к светимости скопления

$$f_{anp} \equiv \mathfrak{M}/L_B = 396 f_{\odot}.$$
 (7)

Независимую оценку f мы получили по ансамблю двойных галактик в Деве [22]. Двойные системы в Деве имеют взаимные расстояния между компонентами заметно меньшие, чем пары вне скопления. Приписывая этот эффект воздействию на пары приливных сил, мы нашли для скопления отношение «приливной» массы к светимости

$$f_{\rm прил.} \leqslant 55 f_{\odot}^{*}. \tag{8}$$

Другое определение приливной массы скопления в Деве было сделано Хартвиком [23]. Из предположения о том, что размеры ближайших к Деве стабильных групп галактик (М 96, М 101 и NGC 1023) ограничены приливными силами скопления, Хартвик получил при D = 19 Мпс значение

$$f_{\rm news} \lesssim 174 f_{\odot}.$$
 (9)

Оценки (7)—(9) обнаруживают значительное взаимное расхождение. Различие между вириальной и приливной массой может быть обусловленс неучетом мелкомасштабных систем в скоплении или же неприменимостью условия стационарности скопления, если система галактик в Деве испытывает глобальное сжатие или расширение.

Следует отметить, что отношение массы к светимости, определяемос как по орбитальным движениям двойных галактик в скоплении Девы, так и по кривым вращения отдельных его членов, дает нормальную величину  $f = 10 f_{\odot}$ . Следовательно, отношение интегральной массы скопления к сумме индивидуальных масс ее членов характеризуется фактором

508

<sup>•</sup> Эта величина редуцирована к принятым здесь значениям D = 19 Мпс и  $L_R = 2.42 \cdot 10^{12} L_C$ .

 $\mu \ll (5 \div 40)$ . Для уточнения величины избытка массы в Деве необходим тщательный анализ предпосылок, используемых при вычислении вириальной и приливной массы скопления.

7. Взаимная скорость Галактики и скопления. В этом разделе мы хотим обратить внимание на новую возможность определения тангенциальной составляющей скорости Галактики относительно скопления в Деве. Измерению движения Галактики относительно реликтового излучения и относительно различных выборок галактик посвящено немалое число исследований. Среди последних отметим работы [24—26]. Согласно этим данным наша Галактика падает на скопление в Деве со скоростью ~ (200 ÷ 500) км/с. По Вокулеру [24, 25] апекс движения Галактики расположен на ~ 20° к северо-востоку от скопления Девы.

Наличие тангенциальной скорости Галактики  $V_i$  относительно невращающегося скопления приводит к тому, что члены скопления с отрицательными лучевыми скоростями будут чаще встречаться в направлении апекса. Разделив галактики в Деве на две выборки: с  $V > \langle V_0 \rangle$  и с  $V < \langle V_0 \rangle$ , мы получили для их центроидов величину взаимного углового смещения  $\Delta y = 0^0 11$  (или  $\Delta \alpha = 0^0 09$ ,  $\Delta \delta = 0^0 06$ ). Этому соответствует значение тангенциальной скорости

$$V_t \sim \Delta y \cdot z_y \cdot \langle y^2 \rangle^{-1}, \qquad (10)$$

где  $\langle y^2 \rangle$  — средний квадратичный угловой размер скопления в проекции на ось, а  $\sigma_V^2$  — дисперсия лучевых скоростей. При  $\sigma_V = 744$  км/с и  $\langle y^2 \rangle^{1/2} = 2^{0}92$  имеем  $V_t = 530$  км/с. Направление поперечной компоненты скорости приблизительно отвечает удалению нашей Галактики от скопления Сота. Однако полученная оценка  $V_t$  имеет низкую надежность. При числе галактик с измеренными лучевыми скоростями  $n_V = 225$  ошибка определения  $V_t$  составляет  $\sigma(V_t) \simeq \sigma_V \cdot n_V^{-1/2} \cdot \langle y^2 \rangle^{-1/2} =$ = 980 км/с.

8. Заключение. Задача более детального динамического исследования скопления в Деве остается актуальной. Для уточнения интегральной массы скопления необходимы новые измерения лучевых скоростей. Подчеркнем, что около 300 галактик в Деве с  $m \leq 15$ .<sup>m</sup>7 и r < 6 еще не имеют оценок лучевой скорости. Определение их скоростей, дополненное данными о морфологии галактик, позволит более полно изучить особенности структуры и динамики самого близкого скопления галактик. Важные сведения о динамической эволюции скопления и параметрах газовой среды в нем может дать подробное исследование карликовых членов скопления в Деве, ожидаемое число которых превышает тысячу.

#### И. Д. КАРАЧЕНЦЕВ

Автор признателен А. И. Копылову за ценные замечания.

Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР

## VIRIAL MASS AND LUMINOSITY OF THE VIRGO CLUSTER OF GALAXIES

#### I. D. KARACHENTSEV

New measurements of radial velocities and of apparent magnitudes of galaxies in the Virgo cluster [2] are used to determine the basic dynamical parameters of the system. Dependences of the radial velocity dispersion on a radii r and on an apparent magnitude  $m_B$  are presented inside  $r < 6^\circ$  from the cluster centrum. The luminosity function of the cluster is determined for the interval  $(-22^m < M < -13^m)$ . The virial mass-to-luminosity ratio for the Virgo cluster is equal to  $f=396f_{\odot}$ . For a tangential velocity component of the Galaxy relative to the cluster an estimate  $V_t = (530 \pm 980)$  km/s has been obtained.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. T. S. Eastmond, G. O. Abell, P. A. S. P., 90, 367, 1978.
- 2. И. Д. Караченцев, В. Е. Караченцева, Письма АЖ, 8. 198, 1982.
- 3. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, Astron. Astrophys., 28, 109, 1973.
- 4. А. Л. Шербановский. Сообщ. САО, 31, 23, 1981.
- 5. R. B. Tully, The Local Supercluster, Ap. J., 257, 389, 1982.
- 6. A. Sandage, G. A. Tammann, Ap. J., 207, L1, 1976.
- 7. H. J. Rood, A Catalogue of Galaxy Redshifts (in press).
- 8. J. L. Tonry, M. Davis, Ap. J., 246, 666, 1981
- 9. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Univ. of Texas Press, Austin, 1976.
- 10. J. W. Sulentic, Ap. J., 241, 67, 1980.
- 11. G. Helou, E. E. Salpeter, N. Krumm, Ap. J., 228, L1, 1979.
- 12. C. Ftaclas, M. N. Fanelli. M. F. Strulle, M. T. Zuber, Ap. J., 245, L5, 1981.
- 13. И. Д. Караченцев, В. Зонн, А. Л. Шербановский, Астрон. ж., 49, 998, 1972.
- J. Ostriker, in "The Large Scale Structure of the Universe", IAU Symp. No. 79 Reidel, Dordrecht, 1978.
- 15. В. А. Амбаруумян, ДАН СССР, 24, 875, 1939.
- F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild. Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, 1-11, California Institute of Technology, 1961-1963.
- 17. G. de Vaucouleurs, W. D. Pence, Ap. J., Supol. ser, 40, 425, 1979.
- 18. C. D. Shane, C. A. Wirtannen, Publ. Lick Obs., 22, part 1, 1907.
- 19. R. C. Kennicutt, Ap. J., 247, 9, 1981.

510

- 20. И. Д. Караченцев, Астрофизика, 1, 303, 1965.
- 21. G. L. Hoffman, D. W. Olson, F. E. Salpeter, Ap. 1., 242, 861, 1980.
- 22. И. Д. Караченцев, Астрофизика, 17, 633, 1981.
- 23. F. D. Hartwick, Ap. J., 208, L13, 1976.
- 24. G. de Vaucouleurs, W. L. Peters, Ap. J. 248, 395, 1981.
- 25. G. de Vaucouleurs, W. L. Peters, L. Bottinelli, L. Gouguenheim, G. Paturel, Ap. J., 248, 408, 1981.
- 26. J. L. Tonry, M. Davis, Ap. 1., 246, 680, 1981.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.7—355

### НОВЫЕ ГАЛАКТИКИ С UV-ИЗБЫТКОМ. IV

### М. А. КАЗАРЯН, Э. С. КАЗАРЯН Поступила 14 апреля 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Приведен IV список 114 новых галактик с UV-избытком, обнаруженных на 40" те-

лескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории с 15 объективной призмой. На пластинках, которые охватывают на небе около 1500 кв. градусов, при их первом просмотре, были отмечены спектры 3147 галактик. Из них 19% имеют UV-избыток. Оценки тех же самых величии, которые должны были бы получиться при втором просмотре пластинок, будут 4600 и 18% соответственно. В качестве относительного количества галактик с UV-избытком для всего обзора было принято приближенное значение 18.0%. В работе делается вывод, что UV-избыточная стадия — частое и долго длящееся явление в жизни галактик.

В первой работе этой серии отмечалось, что для обнаружения новых галактик с UV-избытком на 40" телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории с 1.5 объективной призмой снималось 87 областей [1], каждая из которых покрывается одной пластинкой размерами 16×16 см и охватывает на небе площадь приблизительно 17.1 кв. градусов. В целом полученные спектральные снимки покрывают на небе площадь околз 1500 кв. градусов. Количество полученных пластинок (101) больше количества областей, так как для некоторых из этих областей было получено больше одной пластинки, полученные для некоторых областей, перекрываются.

На рис. 1 приведено приблизительное расположение этих областей на небе. Из него видно, что большинство областей находится между  $15^{h}50^{m}-19^{h}10^{m}$  и  $22^{h}20^{m}-00^{h}00^{m}$  по  $\alpha$  и  $57^{\circ}-78$  и 20-36 по  $\delta$ .

При первом просмотре этих пластинок на них были отмечены спектры 3147 галактик. Из них 604 галактики, т. е. около 19%, имеют заметный UV-избыток.

Результаты подсчетов для 10 отдельных областей, площади каждой из которых, как было сказано выше, равны 17.1 кв. градусов, приведены в табл. 1. В ней даются координаты центров областей, общее количество галактик  $N_i$ , спектры которых отмечены на пластинке, и относительное количество галактик с UV-избытком, обнаруженных на данной пластинке. выраженное в процентах,  $P_i$ .



Рис. 1. Приблизительное расположение областей на небе, снятых на 40" телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории с 1.°5 объективной призмой.

Предельные звездные величины пластинок, полученных для этих областей, слабые и меняются от 17<sup>m</sup> до 18<sup>m</sup>.

Общее количество галактик, приведенных в табл. 1, равно 1067, из них заметный UV-избыток имеют около 20%.

Таблица 1

No	<sup>27</sup> 1950	õ1950	Ni	Pi	Ni	Pi	Ki	Ki
1	00 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	+33°17′	134	18	182	17	1.36	1.25
2	00 34	- 9 46	77	16	92	16	1.19	1.25
3	12 23	+22 53	64	19	124	13	1.94	1.42
4	12 30	+76 17	99	19	144	20	1.45	1.33
5	16 10	+69 20	89	26	164	25	1.84	1,78
6	17 00	÷69 20	177	21	213	20	1.20	1.16
7	17 10	+64 02	73	23	131	18	1.79	1.41
8	17 50	+69 20	214	19	292	18	1.36	1.30
9	17 58	+66 38	76	20	103	18	1.36	1.20
10	18 40	+69 20	64	19	104	16	1.63	1.42

ПОДСЧЕТЫ ГАЛАКТИК И ГАЛАКТИК С UV-ИЗБЫТКОМ

Пластинки этих областей просматривались второй раз, более подробно, с целью обнаружения на них спектров новых галактик. После этого просмотра как полное количество отмеченных галактик, так и количество галактик с UV-избытком на каждой пластинке увеличилось. Результаты второго просмотра  $N_t$  и  $P_t$ , которые имеют тот же самый смысл, что  $N_t$ и  $P_i$ , приведены в табл. 1.  $K_t$  и  $K_t$ , приведенные в табл. 1, показывают, во сколько раз на каждой пластинке увеличилось общее количество галактик и галактик с UV-избытком после второго просмотра. Из табл. 1 видно, что K. меняется в интервале 1.19—1.98, а K. — 1.16—1.78. Их средние значения будут  $\vec{K}_i = 1.51$ , а  $\vec{K}_i = 1.37$ . Общее количество галактик и галактик с UV-избытком, после второго просмотра этих пластинок, составляет 1550 и 286 соответственно, что в 1.46 и 1.36 раза больше, чем при первом просмотре. Эти значения, как и следовало ожидать. близки к К. и К. Значения 1.46 и 1.36 можно использовать для оценки общего количества галактик и галактик с UV-избытком, которые могли бы быть обнаружены, если бы оставшиеся пластинки обзора просматривались бы второй раз так, как вышеотмеченные пластинки. Это означает, что общее количество галактик и галактик с UV-избытком, подсчитанных при первом просмотре обзора, надо соответственно увеличить в 1.46 и 1.36 раза. Такой подход правилен, так как метод и условия первого просмотра для всех пластинок обзора, куда входят также и вышеотмеченные пластинки, одинаковы. После таких простых действий получаются следующие оценки для общего количества галактик и галактик с UV-избытком: 4600 и 820 соответственно, то есть галактики с UV-избытком составляют 18% общего числа галактик обзора второго просмотра пластинок. Это значение близко к значению 19%, полученному для галактик с UV-избытком при первом просмотре пластинок обзора.

Области, приведенные в табл. 1, охватывают на небе площадь около 170 кв. градусов, которая примерно в 8.8 раза меньше всей площади нашего обзора (1500 кв. градусов). Относительное количество галактик с UV-избытком, наблюдаемых на пластинках этих областей, близко к таховому для обзора, хотя их площади отличаются друг от друга в 8.8 раза. Например, при первом просмотре относительное количество галактик с UV-избытком у этих областей и у обзора составляет примерно 20% и 19% соответственно, а при втором просмотре — 18% и 18%.

Важным результатом исследования пластинок областей табл. 1 является также и то, что относительные количества галактик с UV-избытком, полученных при первом и втором просмотрах, близки друг к другу, 20% и 18% соответственно. Так что дальнейший просмотр этих пластинок вряд ли даст результат, отличающийся от этих данных.

Таким образом, за средние значения относительных количеств галактик с UV-избытком для областей табл. 1 и обзора можно принять 19% и 18% соответственно.

Что касается относительного количества галактик с UV-избытком для отдельных областей, приведенного в табл. 1.  $P_i$  и  $P'_i$ , то оно меняется в широком интервале:  $P_i$  — в интервале 16—26%, а  $P'_i$  — 13—25%, т. е.  $P_i$  и  $P_i$  для областей, охватываемых одной пластинкой площадью 17.1 кв. градусов, не стабильны.

514

Таким образом, относительное количество галактик с UV-избытком довольно большое и по нашим подсчетам составляет примерно 18% общего числа галактик, отмеченных на наших пластинках. Этот результат, по нашему мнению, является важным, так как с его помощью можно сделать следующий вывод: если предположить, что все галактики или их определенная доля в течение своей эволюции некоторый промежуток времени обладают заметным UV-избытком, то этот промежуток в их жизни длится очень долго и всего лишь в несколько раз (не более чем в 5 раз) меньше средней продолжительности жизни галактик.

Иначе говоря, UV-избыточная стадия — часто встречающееся и долго длящееся явление в жизни галактик. Согласно концепции В. А. Амбарцумяна об активности ядер галактик [2], этот вывод заставляет нас прийти к заключению о том, что активные процессы в галактиках, которые и приводят к возникновению UV-избытка, длятся весьма долго.

После этих соображений естественно предположить, что результаты многостороннего исследования объектов с такими особенностями могуг пролить свет на эволюцию галактик.

В настоящей работе приводятся данные (табл. 2) о 114 новых галактиках, которые в спектре имеют UV-избыток и являются четвертым нашим списком галактик с UV-избытком. Первые три списка содержат данные о таких 352 галактиках и опубликованы в работах [1, 3, 4]. Данные о еще 114 галактиках будут приведены в следующей статье этой серии, в качестве пятого списка. В наши списки не вошли 24 галактики, находящиеся в тех же областях неба, но вошедшие в разные списки пекулярных галактик, составленные другими авторами. Данные об остальных галактиках сбзора (примерно 200) будут опубликованы в ближайшее время.

В примечаниях к табл. 2 приведены краткие морфологические описания галактик. Для этого были использованы карты Паломарского атласа. Методика наблюдения и поиска галактик с UV-избытком, а также обозначения в табл. 2 в основном те же, что и в [1]. Только вместо термина «спектральный тип», в табл. 2 используется название «спектрально-морфологическая (СМ) характеристика», так как первое название было пеудачным. ибо термин «спектральный тип» скорее подходит для классификации, которая основана на чисто спектральных особенностях (как у звезд. скажем, АО, В5 и т. д.). Координаты и фотографические величины галактик определялись теми же способами, что и в [1].

На рис. 2 приведены карты отождествления галактик с UV-избытком, снятые с красных карт Паломарского атласа. Масштаб 1 мм = 16".

Авторы выражают глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за обсуждение результатов, полученных в настоящей работе.

Ереванский государственный университет Бюраканская астрофизическая обсерватория

# М. А. КАЗАРЯН. Э. С. КАЗАРЯН

СПИСОК ГАЛАКТИК С UV-ИЗБЫТКОМ. IV

Таблица 2

No         Галактика $\alpha_{1950}$ $\delta_{1950}$ Размеры $m_{pe}$ 1         2         3         4         5         6           353         0-1-27         00 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup> 6         -00°42'         10"         16 <sup>m</sup> 7           354         -1-2-20         00 25.5         -08 25         13         16.5           355         00 27.8         -10 02         10         16.2           356         00 28.0         -08 39         12         16.4           357         00 28.0         -08 40         15         16.3           358         2         2         00 28.1         09 02         18 $\times$ 70         16 3	характери- стика
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	7
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	· · · · ·
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	d2
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	d3
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	sl
357         00 28.0        08 40         15         16.3           358         2 2 22         00 28 1         -09 02         18 × 70         16 3	d2
358 2 2 22 00 28 1 00 02 18 70 16 3	d3
	d3
359 00 36.8 -12 11 8 16.6	d3
350 00 37.5 -12 33 10 16.6	sl
361 00 37.6 −10 42 <sup>*</sup> 13×15 16.0	ds3
362 -2-2-80 00 37.8 -10 34 20×35 16.3	d3
363 00 38.5 <b>_09 30</b> 6×12 16.4	sd3
364 00 38.5 -09 32 13×27 16.2	d3
365 00 39.6 —10 34 7×15 16.3	s3
366 00 40.0 -11 06 7 16.4	s2
367 00 41.6 -08 32 15 15.5	sd2
368 <u>-2-3-4</u> 00 41.8 <u>-12 52</u> 12×46 16.3	ds3
369 00 43.2 −11 31 10×30 17.0	d2
370 00 46.0 <u>−12 08</u> 8×17 16.5	53
371 00 46.8 <u>−12 46</u> 15×30 16.5	ds2
372 00 46.8 -12 46 14×22 16.0	d3
373 00 47.1 -12 00 10 16.5	s3
374 00 47.6 -10 23 8 16.4	sd2
375 00 47.6 -12 30 25 16.7	d3
376 00 48.413 11 8 16.4	sd2
377 00 51.0	<b>s</b> 3
378 11 54.4 77 09 8×13 17.0	sl
379 11 57.2 76 50 10×20 16.7	d1
380 12 11.6 74 47 8×70 17.3	d2
381 3095 12 14.4 24 13 20×30 16.2	s2
382 12 14.6 23 52 20×28 17.3	d3
383 12 15.6 23 37 8 17.0	sl
384 12 16.4 21 35 10×40 17.0	d2
385 12 20.0 24 22 10×20 17.0	s3
386 12 20.2 22 47 12×42 17.5	d2
387 12 20.6 76 14 13×20 16.2	d3
388         12 23.4         23 49         9         17.5	s2

# НОВЫЕ ГАЛАКТИКИ С UV-ИЗБЫТКОМ. IV

					I donuga Z (n	родолжение
1	2	3	4	5	6	7
389		12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 0	20°54′	10×12"	17.3	ds3
390	1455	12 26.2	23 07	30×135	15.5	d2
391		12 26.2	23 30	10	17.3	s2
392		12 29.7	24 18	8×13	17.0	s3
393	-	12 30.8	23 08	8×12	17.8	s3
394		12 32.9	77 51	10	16.2	s3
395		12 33.3	75 51	8×10	16.5	d2
396		12 33.3	76 12	22×30	16.3	d3
397		12 35.0	76 51	12×15	17.0	sd3
398		12 35.2	74 35	7	17.3	s3
399		12 38.8	73,59	8×60	16.5	d3
400		12 46.8	75 18	8×18	16.0	sl
401		12 47.1	75 27	7	17.3	sd2
402		12 47.2	75 27	7×9	17.0	sd3
403		13 25.9	77 51	10	16.5	sd3
404	1	14 35.5	73 34	23×26	17.8	d3
405		14 43.5	70 26	8	16.8	s3
406		14 45.2	73 01	15	16.4	ds2
407		14 45.3	73 09	12×20	16.8	d3
408		14 55.2	69 21	10	16.8	s2
409	5832	14 57.7	71 53	70×165	16.0	d3
410		15 01.2	69 50	12×15	16.5	s2
411		15 06.0	73 38	10	17.0	s3
412	1 - C	15 07.6	71 11	<b>20×26</b>	16.8	d3
413		15 09.4	72 41	7	18.0	s3
414	10 C	15 11.2	73 35	10×13	17.8	d3
415		15 15.0	70 15	10×13	16.9	sl
416	2 -	15 15.0	70 49	15	17.0	d3
417	2	15 18.2	70 15	8×12	16.6	s2
418		15 26.6	70 34	20×22	16.0 .	d2
419		15 27.9	70 30	8	16.9	s3
420	3-41-144	16 13.2	19 01	15×120	15.0	d2
421	-	16 13.4	26 37	8×12	16.2	sl
422		16 15.3	71 53	24×30	16.8	d3
423		16 17.8	19 35	10	15.5	d2
424	12-15-58	16 21.2	73 57	8×50	17.0	d3
425	2	16 22.6	17 51	8	15.5	s <b>3</b>
426	12-15-65	16 25.5	71 14	10×35	17.5	d3
427		16 28.4	74 05	14×20	16.5	sd3

2—1019

### М. А. КАЗАРЯН, Э. С. КАЗАРЯН

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
428		16 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 4	74°10′	15×25″	1675	ds3
429		16 34.5	40 10	15×20	15.3	s2
430	-	16 37.8	40 42	10×13	15.5	d2
431		16 39.4	40 31	15×22	15.7	d3
432		16 47.2	60 54	10×15	15.8	sd3
433		16 48.5	61 36	18×20	16.3	d3
434	11-20-29	16 51.4	63 47	33×40	15.8	d3
435		16 52.0	64 02	13×20	16.2	d2
436		16 52.0	65 17	20×25	16.0	sd3
437		16 52.2	60 38	15×25	16.2	d3
438		16 53.0	65 23	13×20	16.4	d2
439		16 53.2	71 17	12	17.0	s3
440		16 53.4	61 50	10	16,3	s2
441		16 56.6	63 08	10×25	16.3	s3
442		16 57.3	65 03	12	16.2	s3
443		17 00.5	59 17	12×20	16.0	sd3
444		17 01.0	64 44	8×20	16.2	sd3
445		17 01.3	63 45	40	16.2	s3
446		17 02.6	60 45	15×20	16.0	s2
447		17 02.6	61 46	8	16.0	s3
448		17 03.0	65 38	8×15	16.5	d2
449		17 07.7	66 00	12×24	16.2	sl
450		17 07.8	61 01	8×18	16.3	d2
451		17 07.8	64 56	12	16.3	s2
452		17 08.1	60 54	8	16.4	<b>s</b> 3
453		17 08.4	60 55	10	16.2	sl
454		17 09.0	63 39	10	16.5	d2
455	1.10	17 09.7	60 05	25×35	16.0	d3
456	1	17 10.2	65 11	10×15	16.2	d3
457		17 11.2	59 24	25 < 90	16.2	d3
458		17 11.3	62 00	8×12	16.0	sd2
459		17 14.4	ó1 26	30×35	16.3	d3
460	6381	17 26.8	60 03	40×60	16.0	ds3
461	1. 5	17 29.0	64 48	10×12	16.2	sd3
462		17 48.0	66 53	10×13	16.5	s2
463		17 49.6	67 20	7	16.4	s3
464		17 49.9	64 52	10×17	16.5	s3
465		17 53.7	65 17	10×22	16.3	s2
466		17 54.2	68 03	7	16.3	s2
			-			

Примечания к списку

- 353 Сферическая, вокруг имеется голубое гало.
- 354 Сферическая, вокруг имеется голубое гало.
- 355 Компактная.
- 356 Сферическая.
- 357 Сферическая.
- 358 Линзообразная, на красной карте имеет яркую центральную область с размерами 10×30".
- 359 Эвездообразная.
- 360 Компактная, от северо-восточной части отходит отросток.
- 361 Сферическая, слегка протяженная.
- 362 Эллиптическая.
- 363 Эллиптической формы.
- 364 Эллиптической формы.
- 365 Эллиптическая.
- 366 Звездообразная.
- 367 Сферическая.
- 368 Линзообразная, с яркой центральной областью.
- 369 Эллиптической формы, от юго-восточной части отходит отросток.
- 370 Эллиптическая.
- 371 Похожа на эллиптическую галактику.
- 372 Эллиптическая.
- 373 Компактная.
- 374 Звездообразная.
- 375 Сферическая.
- 376 Компактная, вокруг имеется голубое гало.
- 377 Спиральная, с центральной яркой областью. Рукава очень слабые.
- 378 Эллиптическая.
- 379 Эллиптической формы, в южной части, на расстоянии примерно 10" к югу, имеется красный звездообразный объект.
- 380 Линзообразная.
- 381 Эллиптической формы.
- 382 Иррегулярной формы, в южной части имеет два голубых звездообразных сгущения.
- 383 Звездообразная.
- 384 Линзообразная, с центральной яркой областью, к северу, от нее, на расстоянии примерно 15", имеется голубое звездообразное сгущение.
- 385 Эллиптической формы.
- 386 Иррегулярная, в северной части имеется два голубых эвездообразных сгущения. От центральной части галактики к северу, на

расстоянии 47", имеется еще одна галактика, которая, по всей вероятности, составляет пару с галактикой № 386.

- 387 Эллиптической формы.
- 388 Компактная.
- 389 Эллиптической формы.
- 390 Линзообразная, на северном краю имеется голубое сгущение.
- 391 Компактная, от южной части отходит слабый отросток и простирается к западу.
- 392 Эллиптическая, от центра к востоку, на расстоянии 20", имеется компактное сгущение.
- 393 Эллиптической формы.
- 394 Компактная, к юго-востоку имеется галактика с размерами 10×14", по всей вероятности, они составляют пару.
- 395 Компактная, слегка протяженная.
- 396 Галактика состоит из двух частей, одна из них (которая находится на северо-западе) имеет UV-избыток.
- 397 Эллиптической формы.
- 398 Компактная, вокруг имеется слабое гало.
- 399 Линзообразная.
- 400 Эллиптическая.
- 401 Компактная, с галактикой № 402 составляет пару.
- 402 Спиральная, имеет яркое ядро и слабые рукава, один из них связан с галактикой № 401.
- 403 Компактная.
- 404 Сферической формы, с четырьмя голубыми сгущениями.
- 405 Компактная, вокруг нее гало.
- 406 Сферической формы, имеет звездообразное ядро.
- 407 Эллиптической формы, со слабым голубым гало.
- 408 Компактная, вокруг имеется гало.
- 409 Иррегулярная, с яркой центральной частью.
- 410 Эллиптической формы, со сгущениями.
- 411 Компактная, от северной части отходит слабый отросток.
- 412 Эллиптической формы, с центральной яркой областью.
- 413 Компактная, от восточной части отходит слабый отросток.
- 414 Эллиптической формы, со слабым гало, с голубыми сгущениями.
- 415 Яркая протяженная, от северной части отходит голубой отросток.
- 416 Крутлой формы, от восточной части на расстоянии 12" от центра имеется голубое сгущение с размерами 4×6".
- 417 Эллиптической формы, от северного и южного концов отходят слабые отростки.
- 418 По всей вероятности, спиральная галактика с ярким компактным ядром.

- 419 Звездообразная.
- 420 Линзообразная, с центральной яркой областью.
- 421 Эллиптической формы.
- 422 Иррегулярная, с пятью сгущениями, одно из них яркое звездообразное, с диаметром 7", а на его спектре, по всей вероятности, видны эмиссионные линии.
- 423 Компактная, со слабым гало.
- 424 Линзообразная.
- 425 Компактная, со слабым гало.
- 426 Линзообразная, на расстоянии 30" имеется голубая протяженная галактика, спектр которой очень слабый.
- 427 Эллиптической формы.
- 428 Эллиптической формы.
- 429 Сферической формы, слегка протяженная.
- 430 Эллиптической формы.
- 431 Эллиптическая.
- 432 Эллиптической формы, с голубым гало.
- 433 Протяженный объект, вокруг имеется гало.
- 434 Спиральная, с центральной яркой областью, от центра на расстоянии 20" от севера имеется голубое сгущение.
- 435 Эллиптической формы, с голубым гало.
- 436 Сферической формы, имеется слабое, голубое гало.
- 437 Эллиптическая.
- 438 Эллиптической формы.
- 439 Сферической формы, имеет звездообразное ядро, размер когорого 8".
- 440 Пара галактик, расстояние между ними примерно 18", наиболее яркая имеет UV-избыток.
- 441 Эллиптической формы.
- 442 Комлактная, слегка протяжениая.
- 443 Эллиптическая.
- 444 Протяженный объект, вокруг имеется голубов гало.
- 445 Сферической формы, по всей вероятности имеет звездообразное ядро.
- 446 Иррегулярная, на северном краю имеется звездообразный объект диаметром 5".
- 447 Звездообразная.
- 448 Протяженная, по всей вероятности состоит из двух компактных частей.
- 449 Эллиптическая.
- 450 Протяженный объект, вокруг есть гало.

- 451 Компактная, от северо-западной части отходит маленький отросток, длиной 2—3".
- 452 Звездообразная.
- 453 Компактная, с западной стороны выходит отросток.
- 454 Компактная, с голубым гало.
- 455 Иррегулярная, с центральной яркой областью.
- 456 Эллиптической формы, вокруг имеется гало.
- 457 Иррегулярная, состоит из двух частей.
- 458 Эллиптической формы.
- 459 Сферическая, с четырьмя яркими сгущениями.
- 460 Спиральная, со многими сгущениями.
- 461 Сферическая, слегка протяженная, на красной карте Паломарского атласа имеет звездообразное ядро диаметром 7".
- 462 Эллиптической формы, на западном краю имеется сгущение.
- 463 Компактная, вокруг имеется гало.
- 464 Эллиптической формы.
- 465 Эллиптическая.
- 466 Эвездообразная, вокруг имеется гало.

### THE NEW GALAXIES WITH UV-EXCESS. IV

#### M. A. KAZARIAN, E. S. KAZARIAN

The list of 114 galaxies with UV-excess discovered by 40' Schmidt telescope of the Byurakan Observatory with 1.5 objective prism is presented. On the plates, which cover the area approximately 1500 square degrees on the sky, by their first survey, the spectra of 3147 galaxies have been marked. From these galaxies the 19% have UV-excess. The estimations of the same values which must be obtained by the second survey of the plates are 4600 and 18% or respectively. As a relative quantity of the galaxies with UV-excess for all of the survey the value of 18% has been taken. In the work a conclusion has been made that the UV-excess stage is an often and durable phenomenon in the life of the galaxies.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1. М. А. Казарян, Астрофизика, 15, 5, 1979.
- V. A. Ambartsumian, La Structure et L'evolution de L'univers, Edition stoops Bruxelles, 1958.
- 3. М. А. Казарян, Астрофизика, 15, 193, 1979.
- 4. М. А. Казарян, Э. С. Казарян, Астрофизика, 16, 17, 1980.

522

# КАРТЫ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ГАЛАКТИК (в красных лучах). Север сверху, восток слева



.

















К ст. М. А. Казаряна, Э. С. Казарян

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.7.77.4

# ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ГАЛАКТИК В ОКРЕСТНОСТЯХ ГРУПП ГАЛАКТИК. I

Я. ВЕННИК, А. КААЗИК Поступила 12 февраля 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Приведены новые определения лучевых скоростей для 62 галактик, находящихся в окрестностях групп галактик. Среднеквадратическая ошибка скоростей около 80 км/с при дисперсии спектров 200 А/мм. Рассмотрена возможная прияадлежность наблюдавшихся галактик к системам разного типа.

1. Введение. В состав систем галактик, выделенных лишь на основе более высокой поверхностной плотности числа галактик, часто попадают ч галактики фона. Особенно чувствительны к таким искажениям рассеянные группы галактик с малым числом членов. Это убедительно показано, в частности, Киршнером [1] при анализе групп галактик из списка Готта и Тәрнера [2]. Для более надежного определения состава систем галактик требуется знание лучевых скоростей галактик. В списке гипергалактик [3] также имеется ряд сомнительных членов, лучевые скорости которых ко времени составления списка не были измерены. Целью настоящей работы является уточнение состава прежде всего некоторых гипергалактик, а также и других выделяющихся групп галактик путем измерения новых лучевых скоростей. Новые скорости могут быть использованы в дальнейшем и для исследования динамики этих систем.

2. Наблюдения и результаты. Спектральные наблюдения проводились на 1.5-м телескопе (D/F = 1:16) Тартуской астрофизической обсерватории в течение 33 ночей с марта 1977 г. по апрель 1979 г. При наблюдениях использовались спектрограф UAGS и светоприемная аппаратура телевизионного типа — OMA. Аппаратура и методика спектральных наблюдений подробно описаны в статье [4]. Там же изложена методика измерения относительных лучевых скоростей галактик путем корреляционного анализа исследуемого и эталонного спектров.

Ниже описываются результаты измерения лучевых скоростей 62 галактик. В табл. 1 приведены следующие данные: 1. Номер галактики по NGC (N), IC (I) [5], UGC (U) [6] или МКГ [7].

2. Число использованных спектров и их дисперсия, указанная буквой (а -- 200 А/мм, b -- 100 А/мм и с -- 120 А/мм).

3. Лучевая скорость галактики, исправленная за движение Солнца и Земли:  $\Delta V = 300 \sin l^{11} \cos b^{11} + 30 \cos \beta \sin (\lambda_{\odot} - \lambda)$  (км/с).

Скорости, определенные по эмиссионным линиям, отмечены буквой с.

4. Внутренняя ошибка измерения лучевой скорости, вычисленная по нескольким линиям (км/с).

5. Оценка качества спектра в четырехбалльной системе по видимости спектральных линий и по отношению сигнала к шуму (5—хороший спектр с несколькими глубокими линиями и с низким уровнем шума; 2—в спектре преобладает шум, линии слабы, плохо видны).

6. Использованные при вычислении скоростей спектральные линии (длины волн в А или общепринятые обозначения) и более широкие участки спектра. Последние обозначены буквами нижеследующим образом:

> $V \rightarrow \lambda 4060 - 4340 \text{ A}$   $W \rightarrow x 4360 - 4800 \text{ }$   $X \rightarrow x 4800 - 5100 \text{ }$   $Y \rightarrow x 5100 - 5420 \text{ }$  $Z \rightarrow x 5580 - 5870 \text{ }$

Двоеточием отмечены слабые линии или те участки спектра, лучевые скорости по которым определяются неуверенно. Глубокие линии поглощения выделены жирным шрифтом.

7. Лучевые скорости по определениям других авторов (км/с).

8. Принадлежность объекта к системе галактик. Для групп галактик указана наиболее яркая галактика в группе и номер системы по списку гипергалактик (Г) [3].

3. Ошибки лучевых скоростей. Лучевая скорость галактики определена как среднее взвешенное скоростей, найденных путем корреляционного анализа по отдельным линиям или более широким участкам спектра [4]. По дисперсии скоростей, измеренных по разным спектральным признакам, определяется внутренняя ошибка лучевой скорости, которая приведена в табл. 1 (столбец 4). Эта внутренняя дисперсия недостаточно хорошо характеризует действительную или внешнюю точность лучевых скоростей. Например, Сэндидж [11] нашел, что внешние ошибки определенных им оптических лучевых скоростей до 2.5 раза больше соответствующих внутренних ошибок. Наиболее достоверную оценку точности наших скоростей можно получить из сравнения их со скоростями, найденными по вы-

Таблица 1

Номер	n	Vo	3 V.		Линии	$(V_0 \pm \tau)_{AP.}$	Отношение к системе
-1	2	3	4	5	6	7	8
N 97	1a	4985	37	4	W(4383:), X. Mgh:, 5269:, 5331, Na		Скопление [8]
N 489	2a	2708:	56	3	(K, H):, W:, X:, Mgb, 5269:		Группа N524
N 502	la	2554	103	2	(K, H):, W, Mgb:, 5269:, 5331, Na:	second part of	11 11
N 684	la	<b>38</b> 59	97	3	W, H <sub>3</sub> , 5024:, Mgb, 5269, 5331:		Фон группы N672
N 736	1a	4556	49	4	Mgb, 5269, Na	4542±40 [5]	Группа N750 (Гб)
5-5-30	la	4587:	82	3	5269, 5331		11 11 13
U 1422	2a	4974:	128	2	4383:, H <sub>3</sub> , 5024:, 5103:, Mgb, 5331:		11 II II
N 855	la	749e	67	5	G, H <sub>3</sub> (e), N1, N2		Вблизи группы N672
N 940	la	·5235	90	3	W, X, Y, Na		Скопление [8]
N 968	2a	3823	48	4	K:, W (4383), X (H3), Mgb, Na		Фон группы N1023 (Г8)
N 1032	la	2675	-69	4	W:. X:, Mgb, Na		Фон группы N1068 (Г9)
U 3642	1a	4526	<b>7</b> ó	4	W, X, Mgb, 5269, Na	4624+10 [9]	Групив или двойная гал.
U 3660	la	4407	98	4	W:, H <sub>3</sub> , Mgb, 5269, 5331, Na		
1 469	2a	2272	93	3	W, H <sub>3</sub> :, Y (5269, 5331, 5401:)	and the second second	Группа N2300 (Г10)
U 4393	2a	2190c	49	3	N1:, N2, Y, Na:	2154+10 [10]	Фон группы N2541 (Г11)
N 2681	lc	769	16	5	H3, Mgb, 5269, 5331, 5401, Na:	760+27 [5]	Группа N2841 (Г15)
N 2756	le	4082	36	4	Hs:. Mgb, 5269, 5331, Na		Фон группы N2841 (Г15)
N 2916	la	3642	92	4	W:, H <sub>3</sub> , Mgb, 5331:		Фон группы N2903 (Г17)
N 3156	1a	929	127	3	W:, H3, 5269	994±85 [11]	Группа N3166 (Г21)
N 3265	la	1353e	10:	3	H3 (e), N2:, 5269:, 5331:	-	Группа N3245 (Г23)
N 3380	la	1563e	37	4	W, H3:, N1, N2, Y		Группа N3414 (Г25)
N 3400	1a	1314	39	4	W, H3. Mgb, 5269:, 5331, 5401:, Na		ap as 10
N 3414	2ab	1467	20	4	X, Mgb. 5269, 5331, 5401:, Na	1395±100 [5]	17 11 11

C#
N 3413 1a 625e 72 4 H₂ (e), N1, N2, 5269;   N 3583 1c 2184 23 5 X, Mgb, 5269, 5331, Na   N 35°8 1b 5918 90 4 H₃, Mgb, 5269, 5331   N 3599 3ab 688 33 4 G, H₃, Mgb, 5269, 5331, 5401, N	a
N 3583     1c     2184     23     5     X. Mgh, 5269, 5331, Na       N 3598     1b     5918     90     4     H <sub>3</sub> , Mgb, 5269, 5331       N 3599     3ab     688     33     4     G, H <sub>3</sub> , Mgb, 5269, 5331, 5401, N	a
N 35°8     1b     5918     90     4     H <sub>3</sub> , Mgb, 5269, 5331       N 3599     3ab     688     33     4     G, H <sub>3</sub> , Mgb, 5269, 5331, 5401, N	۵
N 3599 3ab 688 33 4 G, H <sub>3</sub> , Mgb, 5269, 5331, 5401, N	۵
N 3605   1a   531: 120   2   W, X, Mgb:, 5269:, 5401, Na	
N 3607 1b 863 36 4 H3, Mgb, 5269:, 5401, Na	
N 3608 1b 1132 22 5 X, Mgb, 5269, 5331, 5401, Na	
N 3626 2a 1337 42 3 W. X (H3), Y (5269:), Na	
U 6374 la 5384e – 2 4383: H (e):, Mgb., 5269:	
U 6732 1c 2396 67 4 H3. Y (Mgb., 5269:). Na	
N 3931 1a 1085 80 3 W, H <sub>3</sub> , 5024:, 5401, Na	
N 3982 1a 1201e 114 4 W:, N1, N2, Mgb., 5269, 5331	
N 4005 1a 4479 99 4 W. H3, 5024:, Mgb, 5269, 5331:	
N 4015 1a 4173 22 4 X (H <sub>3</sub> ), Mgb:, 5269, 5331:, Na	
N 4022 1a 4162 51 4 H3, Mgb, 5269, 5331. Na	
N 4023 2a 4760: 253 2 4225:, 4383:, H3, Y:	
N 4047 2ac 3472 30 4 H., Mgb, 5269:, 5331, Na	
N 4253 1a 3690e 40 5 W, H (e). N1, N2, Y. Na:	
U 7767 2a 1327 56 4 W, H. 5024, Mgh., 5269, 5331, 1	Na
1 3582 1e 6928 89 4 H <sub>3</sub> , Mgb., 5269:	
N 4627 1B 831: - 2 (H <sub>3</sub> , 5269):	
N 4648 1a 1625 56 4 4226, G, W, X (113), Y (Mgb:), N	a
N 5313 2a 2700 108 3 H3, 5024:, Mgb:, 5269, 5331, Na:	

			2
		Таблица 1 (продолжение)	01
	7	8	
	2188±25 [10]	Перед группой N 3430 (Г26) Облако гал-к в Б. Медв.	
		Фон группы N 3607 (Г29)	
۱		Группа N 3607 (Г29)	
l	601+65 [5]	93 43 <u>15</u>	
l	841 ± 35 [5]	13 18 39	39
l	1118±50 [5]	0 a u	8
	1363±100 [5]	93 19 12	ĒH
		Фон групны N 3607 (Г29)	Η
	3206+266 [5]	Облако гал-к в Б. Медв.	Ŕ.
ļ	952+49 [12]	Групил N 3992 (Г35)	1
	1208±15 [10]	Группа N 3998 (Г37)	-
l	4332+100 [15]	Группа N 4005 (ГЗ8)	AA.
l			ω
l			R
l			
Į	3426 + 53 [11]	Облако гал-к в Б. Медв.	
ł	3868+71 [13]	Фон группы N 4278 (Г40)	
Į		Группа N 4589 (Г42)	
	7109+71 [14]	Скопление [8]	
	745±71 [13]	Группа N 4631 (Г43)	
1	1612+48 [12]	Группа N 4589 (Г42)	
	2627+25 [9]	Вблизи группы N 5371 (Г48)	

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8
N 5326	la	2576	26	4	H3:, Mgb, 5269, Na	2643+85 [11]	Вблизи группы N5371 (Г48)
N 5342	2a	2379	58	4	(K, H), V, W, H3, Mgb, 5269, Na		Группа N 5322
N 5337	2a	2319	58	3	X, Y (Mgh:, 5331, 5401), Na:		Вблизи группы N 5371 (Г48)
N 5354	2a	2574	30	5	(K, H), V, W, H3, Mgb, 5269, 5331, Na	2507±50 [1]	Группа N 5371 (Г48)
N 5370	2a	3210	62	3	H3:, Mgb, 5269, 5331:		Вблизи группы N 5322
N 5376	lc	2256	58	3	X, Mgb:, 5269, Na	2237±64 [1]	Группа N 5322
N 5389	1c	2006	23	5	H2:, Mgh, 5269, 5331, 5401:, Na:	1996±56 [1]	a 19
N 5422	2ab-	1932	65	4	G, W (4383), H3:, Mgb, 5269, Na	1914±49 [12]	Группа N 5485 (Г50)
N 5430	2ac	3131	47	4	(K, H), W, H <sub>3</sub> (e), Mgb, 5269, Na, 6025	3277±74 [1]	Вблизи группы N 5322
N 5443	2ab	2072	54	4	X (Het), Y (Mgb, 5269, 5331), Na		Группа N 5485 (Г50)
N 5444	le	3949	32	4	X (H.:.), Mgb, 5269, 5331, Z, Na:	4034±44 [5]	Группа N 5444
N 5475	la	1872	103	3	H:, V, W, H3, 5269, 5331, 5401:, Na		Группа N 5485 (Г50)
N 7217	la	1159	38	5	W, X (H <sub>3</sub> , 5024:), Mgb, 5269, 5401, Na	1227±16 [5]	Изолиров гал-ка
N 7242	la	6169	95	4	V (G:), W, X, Mgb, 5269, 5856:, Na	5972±100 [5]	Группа N 7242
N 7331	2a	1077	39	4	G, W, X(H), Mgb, 5269. 5401, Na	1099±10 [10]	Группа N 7331
N 7454	2a	2186	46	4	V. W. X (H3), Y (Mgb, 5269), 5591, Na		Группа N 7448 (Г59)

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ГАЛАКТИК. Г

527

Примечания к таблице 1

- N 489 Слабые линии поглощения. Поправка к нульпункту скоростей, найденная по передержанным линиям ночного неба (ΔV<sub>ин</sub>), возможно, неточна.
- 5—5—30 Линии поглощения слабы, идентификация неуверенна. Видна одна эмиссионная линия. Если это — линия He II (4685), то V<sub>0</sub> ≈ 9570 км/с.
- U 1422 В спектре сильные аппаратурные помехи, идентификация линий неуверенна.
- N 855 Сильные эмиссионные линии H<sub>3</sub>, N1, N2.
- U 3660 Очень широкая линия Mgb, узкая 5269. Скорость по линии NaD V<sub>0</sub> = 4028 км/с.
- 469 Спектр искажен аппаратурными помехами, идентификация линий неуверенна.
- U 4393 Слабая эмиссия N 1:, N 2. По спектру поглощения  $V_0 = 2342$  км/с.
- N 3156 Большая дисперсия в скоростях: по линии  $H_3 V_0 = 673$  км/с, по линии 5269 —  $V_0 = 1164$  км/с. Неизвестные эмиссии у ~ 4800 A и ~ 4500 A.
- N 3265 Слабая эмиссия. Поправка к нульпункту (ΔV<sub>нк</sub>), возможно неточна.
- N 3380 По спектру поглощения  $V_0 = 1626$  км/с.
- N 3413 Поправка к нульпункту (Δ V<sub>нн</sub>), возможно, неточна.
- N 3605 Спектр галактики искажен полярным сиянием. Большая дисперсия в скоростях, определенных по разным линиям.
- U 6374 Очень слабая эмиссия в линии Н₃. Искажения в спектре из-за полярного сияния. Оценка скорости по спектру поглощения V₀ ≈ 4953 км/с.
- U 6732 По глубокой линии Н<sub>й</sub> V<sub>0</sub> ≈ 2180 км/с.
- N 3982 Сильная эмиссия в линиях N1 и N2.
- N 4023 В спектре нет подходящих линий. Оценка скорости ориентировочная.
- N 4253 Очень сильная эмиссия в линиях H<sub>p</sub>, N1, N2.
- I 3582 По глубокой линии Н. V<sub>0</sub> = 6698 км/с.
- N 4627 Спектр искажен полярным сиянием. Скорость галактики. возможно, неточна.
- № 5430 Скорость по эмиссионной линии H V<sub>0</sub> = 3332 км/с.
- N 7242 Больщая дисперсия в скоростях, определенных по разным линиям (по линии NaD  $V_0 = 5843$  км/с).

сокоточным радионаблюдениям в линии 21 см. Для 11 галактик нашего списка в литературе имеются лучевые скорости, определенные по линии 21 см. Кроме того, мы использовали при анализе ошибок взятые из литературы данные об оптических скоростях для 24 галактик, точность которых по оценкам самих авторов не ниже 50 км/с.

Весь наблюдательный период с 1977 г. по 1979 г. делится на два цикла: зима-весна 1977/78 гг. и 1978/79 гг. Между этими циклами наблюдений проводились ремонт и перенастройка аппаратуры, заменен источник спектра сравнения. Все это могло вызвать некоторые систематические различия в лучевых скоростях, измеренных в разные циклы. Систематические различия могут быть вызваны также и использованием разных эталонных спектров при вычислении корреляционных скоростей. Эталонами служили спектры ярких галактик с низким уровнем шума (М 31, М 81, NGC 3608), линии ночного неба в которых частично или полностью отсутствовали. По этой причине невозможно было ввести поправку за нульпункт в кривую диоперсии эталонных спектров на основе линий ночного неба. Соответствующая поправка может достигать 300 км/с.

Результаты сравнения наших скоростей с определениями других авторов представлены в табл. 2. Анализ проведен отдельно для разных циклов наблюдений и разных эталонных спектров. В табл. 2 включены лишь скорости, измеренные по одному высококачественному спектру (балл це ниже 3) с абсорбционными линиями. В столбцах табл. 2 приведены следующие данные: 1— период наблюдений, 2— дисперсия, 3— используемый эталонный спектр, 4— число сравниваемых скоростей, в скобках указано число скоростей по наблюдениям в линии 21 см, 5— разность нульпунктов наших скоростей и скоростей других авторов  $\langle V_{OMA} - V_{AP} \rangle$ , 6— среднеквадратические ошибки наших скоростей  $\sigma_{OMA} = \sum (V_{AP} - V_{AP})^2$ 

$$= \left[ \frac{\sum_{n} (V_{\text{OMA}} - V_{\text{AP}})^{2}}{n-1} - \langle \sigma_{\text{AP}}^{2} \rangle \right]^{1/2}.$$

200

200

Период

наблюдений

1977 г.

1977/78 rr.

1977/78 rr.

1978 79 гг.

( VOMA-VAP. Дисперсия Эталонный OMA n/n21 спектр (A/MM) (RM/C) (RM/C) 46 120 M81 7(1)  $+10\pm 26$ - 9+27 51 100 N 3608 5(-)

14(4)

9(5)

+18+24

+51+29

Существенный сдвиг нульпункта виден лишь в скоростях, измеренных зимой 1978/79 гг. Вероятно, этот сдвиг обусловлен заменой источника спектра сравнения перед этим циклом наблюдений. В табл. 1 лучевые

M31

M31

Таблица 2

74

95

скорости этого цикла исправлены за сдвиг нульпункта. Внешние ошибки, определенные из сравнения со скоростями по линии 21 см, с одной стороны, и с оптическими скоростями, с другой, находятся в хорошем согласии. Средние ошибки наших скоростей, измеренных только по спектрам поглощения с дисперсиями 200 А/мм и 100 А/мм равны, с<sub>яро</sub> = 80 км/с и σ<sub>100</sub> = 50 км/с, соответственно. Корреляция между внешней ошибкой, с одной стороны, и внутренней ошибкой или оценкой качества спектра, с другой, довольно слабая. Лучевые скорости, определенные по низкокачественным спектрам (балл 2), имеют среднеквадратическую ошибку ~ 100 км/с. Ошибки лучевых скоростей, найденных по эмиссионным линиям, оценивались путем сравнения их с высокоточными скоростями, полученными по линии 21 см для шести галактик. Согласно ожиданиям. узкие эмиссионные линии дают более точные скорости, чем найденные по спектру поглощения — с ими с. При нормальном распределения внешних ошибок ожидается, что ошибки скоростей, определенных по двум спектрам одинакового качества, примерно в V2 раза меньше указанных выше. В табл. 1 по двум спектрам определены скорости 20 галактик. В литературе для 8 из них имеются независимые определения скорости с точиостью э, <40 км/с (пять из них измерены в линии 21 см). Оказалось, что по двум спектрам, снятым с дисперсией 200 А/мм, лучевые скорости, полученные, имеют среднюю ошибку осна = 48 км/с, что соответствует ожиданиям.

На рис. 1 представлено суммарное распределение разностей между нашими и взятыми из литературы скоростями.



Рис, 1. Распределение разностей между нашими скоростями и определениями других авторов (ΔV = V<sub>OMA</sub> - V<sub>AD</sub>) для 35 галактик.

4. О составе гипергалактик. Как указывалось выше, объекты для определения лучевых скоростей были выбраны в большинстве случаев из первого списка гипергалактик [3]. Из 62 галактик в табл. 1 34 галактики входят в список гипергалактик, 9 галактик исследовались дополнительно в окрестностях этих гипергалактик и остальные 19 объектов наблюдались в других группировках галактик. На основе измеренных лучевых скоростей в последнем столбце табл. 1 указано, в какую систему данная галактика может входить. Представляет интерес вопрос о том, насколько удачно составителям списка гипергалактик удалось оценить расстояния галактик, не имеющих измеренных к тому времени лучевых скоростей.

В списке гипергалактик галактики разделены на достоверные и сомнительные (обозначены двоеточием) члены. Из 18 принятых за достоверные члены галактик на основе новых лучевых скоростей правильные оценки расстояния оказались у 15 (83%), а 3 (17%) галактики оказались фоновыми. Из 9 сомнительных членов соответственно 5 (56%) галактик оказались членами, а 4 (44%) фоновыми галактиками. Таким образом, на основе данного ограниченного материала сравнения, можно заключить, что при составлении первого списка гипергалактик расстояния галактик по косвенным критериям (класс светимости, видимые звездные величины и диаметры) оценивались в основном правильно. Большинство галактик, принятых за достоверные члены, принадлежит к соответствующим системам, судя и по лучевым скоростям. Среди сомнительных случаев процент «попадания» около 50. Соответствующий более основательный анализ будет сделан после опубликования всех измеренных нами лучевых скоростей.

5. Заключение. Измерение относительных лучевых скоростей галактик методом корреляционного анализа спектров дает довольно уверенные результаты. Наши ошибки скоростей — 80 км/с при дисперсии 200 А/мм и 50 км/с при 100 А/мм находятся в хорошем согласии с оценками других авторов, которые измеряли скорости по спектрам с близкими дисперсиями. Полученные нами лучевые скорости могут быть использованы для выявления состава систем галактик разных типов, а также для определения внутренней дисперсии скоростей в богатых скоплениях галактик. Принято считать, что для изучения динамики в группах галактик ошибки лучевых скоростей должны быть меньше 50 км/с. Наши скорости, измеренные по эмиссионным линиям или по двум качественным абсорбционным спектрам, соответствуют этому требованию. Желаемая точность получается и по спектрам с дисперсией 100 А/мм.

За период наших наблюдений в литературе были опубликованы лучевые скорости многих объектов, входящих в наш список. Точность оптических скоростей, измеренных другими авторами. близка к нашей точности, вследствие чего представленные в настоящей работе новые независимые определения лучевых скоростей могут быть объединены с аналогичными данными других авторов при изучении систем галактик.

Институт астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР

#### Я. ВЕННИК, А. КААЗИК

# RADIAL VELOCITIES OF GALAXIES IN THE VICINITY OF GROUPS OF GALAXIES. I

## J. VENNIK, A. KAAZIK

New redshift determinations are presented for 62 galaxies obtained mostly on the basis of absorption line spectra by cross-correlation techniques concerning the velocity standard spectra of M31, M81 and NGC 3608. With respect to published redshifts for 35 galaxies, the new redshifts, obtained at the dispersion of 200 A/mm, show r. m. s. residuals of about 80 km/s. The possible group or cluster membership is indicated.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. R. P. Kirshner, Ap. J., 212, 319, 1977.
- 2. E. L. Turner, J. R. Gott III, Ap. J., Suppl. ser., 32, 409, 1976.
- 3. J. Einasto, M. Joeveer, A. Kaasik, P. Kalamees, J. Vennik, Tartu Astr. Obs. Teated Nr. 49, 3, 1977.
- 4. А. Каазик, Публ. Тартуской обс., 50, 1983.
- 5. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, Jr., Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Univ. of Texas Press, 1976.
- 6. P. Nilson, Uppsala General Catalogue of Galaxies, Uppsala, 1973.
- 7. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красногорская, В. П. Архипова, Морфологический каталог галактик, I—IV, изд-во МГУ, М., 1962—1968.
- 8. F. Zwicky, C. T. Kowal, Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies, VI, California Instit. of Techn., 1968.
- 9. S. D. Peterson, Ap. J., Suppl. ser., 40, 527, 1979.
- 10. J. R. Fisher, R. B. Tully, Ap. J., Suppl. ser. (in press).
- 11. A. Sandage, A. J., 83, 904, 1978.
- 12. P. W. Kelton, A. J., 85, 89, 1980.
- 13. G. Chincarini, H. J. Rood, Ap. J., 206, 30, 1976.
- 14. G. Chincarini, H. J. Rood, A. J., 77, 448, 1972.
- 15. S. A. Gregory, L. A. Thompson, Ap. J., 222, 784, 1978.

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.7.77.4

# ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ГАЛАКТИК В ОКРЕСТНОСТЯХ ГРУПП ГАЛАКТИК. II

## Я. ВЕННИК, А. КААЗИК, А. АМИРХАНЯН Поступила 19 мая 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Приводятся новые определения лучевых скоростей 48 галактик, преимущественно находящихся в окрестностях групп галактик.

1. Введенис. Данная работа выполнена в рамках начатой в 1977 г. в Тартуской астрофизической обсерватории программы измерения лучевых скоростей галактик, находящихся в окрестностях групп галактик и по совместной программе Тартуской и Бюраканской астрофизических обсерваторий исследования близких групп галактик и более далеких компактных групп. В предыдущих статьях были изложены данные об используемой спектральной аппаратуре и о методике измерения лучевых скоростей [1], а также был представлен первый список самих скоростей [2]. Очередной цикл наблюдений был проведен летом 1978 г. и 1979 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории. В настоящей работе приводятся новые определения лучевых скоростей для 48 наблюдавшихся в этот период галактик, которые будут использованы для уточнения состава групп галактик, а в дальнейшем и для исследования динамики этих систем.

2. Наблюдения. Спектральные наблюдения галактик выполнялись на 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории в течение 20 ночей в июне—августе 1978 г. и 13 ночей в июле и августе 1979 г. Наблюдения проводились в фокусе Нәсмита (D/F = 1:16.4) телескопа со спектрографом типа UAGS. Камера спектрографа с вынесенным фокусом и светоприемная система — 500 канальный анализатор OMA были доставлены из Тартуской астрофизической обсерватории. Подробное описание системы OMA представлено в статье [1]. Спектры галактик были сняты в основном с дисперсией 200 А/мм; несколько спектров получено и с дисперсией 100 А/мм. Разрешение спектров соответственно ~ 8 А и ~ 4 А. Ширина щели спектрографа выбиралась в пределах 0.3—0.4 мм (1."5—2"). Заметного ухудшения разрешающей способ-3—1019 ности из-за ширины щели при этом не наблюдалось. Длительность одной экспозиции для самых слабых объектов (15<sup>m</sup>5—16<sup>m</sup>) была около 90 мил. Методика наблюдений описана в статье [1].

В рамках программы Тартуской обсерватории исследования близких групп галактик за этот период было получено 56 спектров, причем 41 спектр 34 галактик были достаточно хорошего качества, чтобы можно было определить по ним лучевые скорости. По программе Бюраканской обсерватории исследования компактных групп галактик было получено 16 качественных спектров 14 галактик в трех компактных группах КГ 16 [3], КГ 30 [3] и КГ 166 [4].

Спектры галактик вместе со спектром сравнения от He—Ne-A. источника регистрировались в численном виде на перфоленте. Дальнейшая обработка спектров проводилась на вычислительной машине iN-96 в Тартуской обсерватории. Относительные скорости галактик измерялись путем сравнения изучаемого спектра с высококачественными эталонными спектрами от ярких галактик, лучевые скорости которых известны с хоро шей точностью. Такими эталонами служили спектры спиральной галактики M 31 ( $V_{\odot} = -299 \pm 3$  км/с [5]) и эллиптической галактики NGC 3608 ( $V_{\odot} = + 1210 \pm 50$  км/с [5]). Методика корреляционного анализа изложена в статье [1].

3. Результаты. Новые определения лучевых скоростей 34 галактик из близких групп представлены в табл. 1, в которой приведены следующие данные:

1. Номер галактики по NGC (N), IC (1), UGC (U) [6], МКГ [7]. Координаты остальных галактик указаны в примечаниях.

2. Число использованных спектров и их дисперсия, указанная буквой (а — 200 А/мм, b — 100 А/мм).

3. Лучевая скорость галактики, исправленная за движение Солнца и Земли (км/с). Скорости, определенные по эмиссионным линиям, отмечены буквой е.

4. Внутренняя ошибка измерения лучевой скорости, вычисленная по нескольким линиям (км/с).

 Оценка качества спектра в четырехбалльной системе по видимости спектральных линий и по отношению сигнала к шуму (5—наилучший спектр).

6. Использованные при вычислении скоростей спектральные линни (длины волн в А или общепринятые обозначения) и более широкие участки спектра между линиями ночного неба. Последние обозначены буквами нижеследующим образом:

.

Номер	n	Vo	av.		Лвнии	
1	2	3	4	5	6	
N 4133	la	1353	60	4	G: Ha: 5269: 5331. Na	
N 5311	2ь	2794	30	4	X, Mgb, 5269, 5331:	
N 5320	1Ь	2741	56	4	H3:, Mgb, 5269, Na	
N 5355	la	2558	19	4	W, Mgb:, 5269, 5331, Na	
N 5358	1a	2603	67	3	V, W, X (H3:), Mgb	
N 5402	1a	3182e	_	3	H3 (e)	
10-20-59	1a	10694	90	4	H, G, Mgb:, Na	
N 5410	1a	3968:	79:	3	(K+H):, ₩, Hβ:, 5331:	
N 5839	la	1249	70	4	H <sub>2</sub> , Mgb, 5269:, 5331, Na	
N 5987	1b	3189	<b>3</b> 9	4	X, Mgb, 5269, (5331-+5401):, Na	
N 5989	la	3059:		2	(K + H):	
U 10713	16	1354e		3	H3 (e)	
1	la	11772	205	3	H:, G:, H <sub>3</sub>	
N 6928	1a	4887	<b>6</b> 8	4	K, W, H <sub>3</sub> , Mgb, 5331, Na	
2	2a	4150	93	3	W, X, Mgb, 5269, 5331	
0-53-02	la	4051	50	3	K:, W, X, Y (Mgb, 5269:)	
3	2a	3908	65	3	W. Y (Mgb, 5269, 5331:)	

Таблица 1

(Vo土), ap.	Отношение к системе
7	8
	Вблизи гоуппы N 4291 (Г 41)
	Вбанак группы N 5371 (Г 48)
2709-+15 171	
2462-54 [9]	C
2402-1 34 [0]	(pyinta in 5571 (1 46)
	n 1)
	Вблизи группы N 5322
	Фон группы N 5322
-	Вблизи группы N 5371 (Г 48)
	Группа № 5846
3221+25 [7]	Группа N 5985 (Г 54)
1	11 19
	Вблизи группы N 6340
	Фон группы N 6340
4986 + 75 [3]	Группа N 6928 (Г 56)
100 10 [0]	Γρυππα Ν 6962 (Γ 57)
	PC
	Волизи группы N 0962 (1 57)
	Группа N 6962 (Г 57)

**ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ГАЛАКТИК. II** 

535

Tab	лица і	(окончанив)	

	1	2	3	4	5	6	7	8	
	N 6959	la	3837	66	4	W, X, Y (Mgb, 5269, 5331), Na		Группа N 6962 (Г 57)	
	N 6961	<b>2</b> a	<b>3</b> 960	65	4	W, X:, Y (Mgb:, 5269, 5331:)	-	99 89	
	N 6962	2a	4418	55	4	K, H, 4226, W, X, Mgb, 5269, 5331, Na	4419 <u>+</u> 8 [9]	89 9V	
	N 6963	la ·	4531	65	4	W, X(H <sub>3</sub> ), Mgb, 5269, 5331, Na	4551±50 [3]	** **	
	N 6964	la	4027	15	5	K, H, W, X, Mgb, 5269, 5331, 5591, Na:	4031±100 [3]		
	N 6965	2ab	3940e	13:	5	V, W, X, N1:, N2, Y (Mgb:, 5269), 5591		17 17	
	N 7442	2a	7611:	<b>22</b> 0	2	G:, W, X, Y (Mgb:)		Фон группы N 7448 (Г 59)	
	N 7547	1a	5023	53	4	4384, X, Mgb, 5269, Na	5092±150 [3]	Группа N 7550	
	N 7549	la	4930	119	2	₩, X, Y, Z	5041±150 [3]		
	N 7550	la	5320	69	4	W. X (H8:, 5024:), Mgb, 5269, Na	5222+150 [3]		
	4	la	5215	87	3	V:, W, X, Y (Mgb, 5269), Na:			
3	-59-16	la	8853	123	3	G, (W + X), Mgb	and the second second	Фон группы N 7550	
-	N 7597	la	11348	65	3	H:, G:, W, X (H3:, 5024:), Na	11842+150 [3]	Скопление [10]	
	N 7598	la	11387:	55:	2	H:, G:, W, X:, Na		Скопление	
	N 7778	la	5408	39	4	V, W, H <sub>3</sub> , Mgb, 5269, 5331, Z, Na		Группа N 7782	
	N 7779	la	5193	54	4	4227, W, H <sub>β</sub> , Mgb, 5269, 5591:, Na		**	
	N 7781	la	5564	139	3	$W, X(H_{\beta}:), Y(Mgb, 5331:)$		19	

Я. ВЕННИК И ДР.

 $V = \lambda \lambda 4060 = 4340 \text{ A}$  W = -, 4360 = 4800 ,, X = -, 4800 = 5100 ,, Y = -, 5100 = 5420 ,,Z = -, 5580 = -5870 ,,

Двоеточием отмечены слабые линии или те участки спектра, лучевые скорости по которым определяются неуверенно. Глубокие линии поглощения выделены жирным шрифтом.

7. Лучевые скорости по определениям других авторов (км/с).

8. Принадлежность объекта к системе галактик. Для групп галактик указана наиболее яркая галактика в группе и номер системы по списку гипергалактик (Γ) [8].

Примечания к таблице 1

- N 5402 Сильная эмиссия в линии Н<sub>в</sub>.
- N 5410 В спектре нет надежных линий, оценка скорости ориентировочная.
- N 5989 В спектре нет надежных линий, оценка скорости ориентировочная.
- U 10713 Слабая эмиссия в линии На. Оценка скорости по спектру поглощения: V<sub>0</sub> = + 1324 км/с.
  - 1 Координаты, измеренные на синей карте Паломарского атласа:  $a = 17^{h}10^{n}1$ ,  $b = +72^{\circ}21'$ .
- N 6928 Большой внутренний разброс в скоростях: по линии NaD  $V_0 = 5096$  км/с; по линиям Mgb и H<sub>8</sub>  $V_0 = 4763$  км/с.
  - 2 Координиты по Цвикки [12]:  $z = 20^{\circ}43^{m}3$ ,  $c = +00^{\circ}00^{\prime}$ .
  - 3- Координаты по Цвикки [12]:  $\alpha = 20^{6}44^{m}1$ ,  $\delta = +00^{\circ}09^{\prime}$ .
- N 6965 Слабые, узкие эмиссионные линии N 1 и N 2. По спектру поглощения V₀ = 3976±92 км/с.
- N 7442 В спектре нет надежных линий, оценка скорости ориентировочная.
- N 7549 В спектре нет надежных линий.

4 — Координаты по Цвикки [12]:  $\alpha = 23^{h}13^{m}1$ ,  $\delta = +18^{\circ}47'$ .

- 3-59-16 -- Большой внутренний разброс в скоростях.
- N 7597 Слабые широкие линии поглощения, скорость, возможно, неточная.
- N 7598 В спектре преобладает шум, линии слабо выделяются, скорость, возможно, неточная.

В табл. 2 приведены лучевые скорости галактик в трех компактных группах КГ 16, КГ 30 и КГ 166. В первом столбце таблицы указан номер группы по спискам компактных групп компактных галактик [3, 4]. Члены каждой группы пронумерованы в порядке убывания яркости. В остальныя столбцах в табл. 2 приведены те же данные, что и в соответствующих столбцах в табл. 1.

T	n	6	1	,,	,,	<i>_</i>	2
	64	u	~	ы	44	u	-

Номер	n	V <sub>o</sub>	σ <sub>Vo</sub>	Качество	Линии
1	2	3	4	5	6
КГ 16—1	la	9023	71	4	G, W:, X (H,). Mg, Na
КГ 16-2	1a	9107	118	2	G:, W:, Na
КГ 16-4	1a	9177	178	3	G:, W, X (H3:, 5024), Mg, Na:
КГ 16—5	la	9014	143	3	G:, W. X:, Mg, Na
КГ 30—1	1a	6957	87	5	V, W, X(H <sub>\$</sub> ), Y(Mg, 5269). Na
КГ 30—2	la	6708	40	4	V, W, X, Y(Mg)
КГ 30—3	1a	6218	47	5	V(G), W, X(H <sub>3</sub> ), Y(Mg, 5269), Na
КГ 166-1	2a	11484	66	4	H, G, W, X (H3), Mg, Na:
КГ 166-2	la	11415	48	4	H:, V(G), W(4384), X, Mg, Na
КГ 166—3	la	11740	70	4	G, W, X, Mg, Na
КГ 166—4	la	11801	59	4	H:, V(G), X(H <sub>β</sub> :), Mg:, Na
КГ 166-5	2a	11237	64	5	H, V(G). W, X(H3, 5024), Mg, Na
КГ 166-7	la	11978	99	4	H:, V(G), X, Mg, Na
КГ 166—8	la	12257	139	4	H:. V (G), X (H3), Mg, Na:

Примечания к таблице 2

- КГ 16-2 Слабые линии поглощения, скорость, возможно, неточная.
- КГ 16—4 Большая дисперсия в скоростях: по глубокой линии  $Mgb - V_0 = 8670$  км/с, по линиям  $H_3$  и  $\lambda 5024 - V_0 =$ = 9310 км/с.
- КГ 166—7 Глубокие линии поглощения G, Mgb, NaD, но дисперсия з скоростях большая.
- КГ 166—8 Скорость по глубокой линии Mgb больше средней скорости на 500 км/с.

4. Ошибки лучевых скоростей. Для 11 галактик нашего списка имеются опубликованные в литературе лучевые скорости, определенные другими авторами (см. табл. 1, столбец 7). Эти скорости могут быть использованы для оценки точности наших определений. Лишь для трех галактик (NGC 5320, 5987 и 6962) имеются высокоточные определения скорости в линии 21 см [9, 11]. По четырем спектрам этих трех галактик средняя раз ность оценок составляет  $\langle V_{OMR} - V_{21eM} \rangle = +24 \pm 48$  км/с, а средняя квадратичная разность  $\sigma_{OMR} = \langle (V_{OMR} - V_{21eM})^2 \rangle^{1/2} = 100$  км/с.

Мы можем расширить этот крайне скудный материал сравнения путем включения в анализ ошибок и оптических скоростей остальных восьми галактик. Недавно Руудом был составлен новый каталог лучевых скоростей галактик [13] и проведен анализ их ошибок путем сравнения оптических скоростей с высокоточными определениями в линии 21 см отдельно для каждого из авторов. По его результатам ошибки оптических скоростей шести интересующих нас галактик меньше, чем приведенные в столбце 7 и взятые из указанных источников. Средняя квадратическая ошибка скоростей шести этих галактик по оценкам Рууда  $\langle \cdots \rangle^{1/2} =$ = 65 км/с. Ошибки скоростей остальных двух галактик, NGC 6964 и 7597, значительно больше средней ошибки и эти галактики были исключены из сравнения.

Добавляя к скоростям в линии 21 см оптические определения скоростей шести галактик и учитывая среднюю ошибку их определений — 65 км/с, получим следующую оценку точности наших измерений:  $\langle V_{Oma} - V_{Ap} \rangle = +16 \pm 30$  км/с и  $\sigma_{Oma} = 83$  км/с. Полученная внешняя точность наших скоростей — около 90 км/с относится к спектрам с дисперсией 200 А/мм. Она хорошо согласуется с оценкой точности, сделанной в предыдущей статье данного цикла [2].

Недостаточный материал, имеющийся для сравнения, не позволяе: нам определить отдельно ошибку скоростей, измеренных по спектрам с дисперсией 100 А/мм. Как указывалось ранее [2], она вероятно около 50 км/с.

5. О составе зипергалактик. Из 48 наблюдавшихся галактик 15 входят в список членов пяти гипергалактик — № 48, 54, 56, 57 и 59 [8], а 4 галактики исследовались дополнительно в окрестностях гипергалактик № 41, 48 и 57. Девять галактик внесены в список как достоверные члены соответствующих систем, но их лучевые скорости ко времени составления списка не были измерены. По нашим данным у восьми галактик из девяти лучевые скорости соответствуют ожидаемым скоростям для членов групп и лишь одна галактика — NGC 7442 оказалась проектирующейся на группу № 59 [8]. Объединяя результаты этой работы с предыдущей в данной серии [2], находим, что из 27 предполагавшихся членов гипергалактик 23 (85%) оказались реальными членами. Этот довольно высокий процент правильных оценок расстояний галактик по косвенным критериям позво-

#### Я. ВЕННИК И ДР.

ляет утверждать, что в списке гипергалактик мало проектирующихся членов, за исключением, может быть, самых близких к нам систем.

Остальные 29 галактик наблюдались в других системах галактик. Наиболее выделяющимися среди них помимо указанных компактных групп являются тесные группы из пяти галактик вокруг NGC 7550 и NGC 7782. Следует отметить, что один из кандидатов в члены группы NGC 7550 — МКГ 3—59—16, очевидно, находится позади группы и проектируется на нее.

Авторы из Тартуской обсерватории (Я. В. и А. К.) выражают благодарность дирекции Бюраканской обсерватории за гостеприимство и предоставленную им возможность наблюдать на 2.6-м телескопе. Авторы благодарны также П. Траату, Э. Таго и М. Сисаску за участие в наблюдениях.

Институт астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР, Бюраканская астрофизическая обсерватория

## RADIAL VELOCITIES OF GALAXIES IN VICINITY OF GROUPS OF GALAXIES. II

#### J. VENNIK, A. KAAZIK, A. AMIRKHANIAN

New redshift determinations are presented for 48 galaxies, selected in the vicinity of nearby groups and of three more distant compact groups of galaxies. The possible group or cluster membership is indicated.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1. А. Каазик. Публ. Тартуской обс., 50, 1983.
- 2. Я. Венник, А. Каазик. Астрофизика, 18, 523, 1982.
- 3. Р. К. Шахбазян, Астрофизика, 9, 495, 1973.
- 4. М. Б. Петросян, Астрофизика, 10, 471, 1974.
- 5. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, Jr., Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Univ. of Texas Press, 1976.
- 6. P. Nilson, Uppsala General Catalogue of Galaxies, Uppsala. 1973.
- 7. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красногорская, В. М. Архипова, Морфологический каталог галактик, I—III, изд-во МГУ, М., 1962—1964.
- J. Einasto, M. Jöeveer, A. Kuastk. P. Kolamees, J. Vennik, Tartu Astr. Obs. Teated Nr. 49, 3, 1977.
- 9. J. R. Fisher, R. B. Tally, Ap. J., Suppl. ser. (in press).
- 10. R. P. Kirshner, Ap. J., 212, 319, 1977.
- 11. S. D. Peterson, Ap. J., Suppl. ser., 40, 527, 1979.
- 12. F. Zwicky, M. Karpowicz, C. T. Kowal, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, V. California Inst. of Techn., 1965.
- 13. H. J. Rood, A Catalog of Galaxy Redshifts, 1980.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.7—355

# О МАРКАРЯН 6 И ВОПРОС О ПРОМЕЖУТОЧНОМ КЛАССЕ Sy 1.5

## Э. Е. ХАЧИКЯН, В. Н. ПОПОВ, А. А. ЕГИАЗАРЯН Поступила 10 февраля 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Рассмотрены результаты новых спектральных наблюдений переменной сейфертовской галактики второго типа Маркарян 6. Спектры получены на 6-м телескопе САО АН СССР. Показано, что коротковолновые компоненты эмиссионных водородных линий, обнаруженные в 1969 г. Хачикяном и Видманом [2, 3], все еще наблюдаются в спектре этой галактики. Отмечается уменьшение эквивалентных ширии как Нр, так и запрещенных линий N и N<sub>2</sub>. Предполагается, что так называемые галактики типа Sy 1.5, вероятно, являются кратковременной фазой в эволюции галактик Sy 2.

Сейфертовская галактика Маркарян 6 (IC 450) [1] является объектом, привлекающим особое внимание в связи с радикальными изменениями структуры его водородных линий, происшедшими за сравнительно короткий промежуток времени.

На спектрограммах, полученных Хачикяном и Видманом в январе 1969 г. [2, 3], был обнаружен новый компонент на голубом крыле водородных линий На и На, который отсутствовал на спектрограммах, полученных в феврале 1968 г. [4].

В 1971 г. Ульрих на спектрах с дисперсией 50 и 28 А/мм не смогла обнаружить эти новые компоненты и пришла к выводу об очень коротком времени существования таких образований — порядка 1—1.5 года [5]. Однако другими наблюдателями указанные компоненты были обнаружены как в тот же период времени, так и позднее [6—9]. В частности, Адамс [9] предположил, что вследствие большой дисперсии спектров, полученных Ульрих, сравнительно широкие компоненты на регистрограммах могли просто не выделиться. На спектрах же самого Адамса, полученных в том же 1971 г., регистрограммы которых он приводит в своей статье, компоненты очень хорошо видны. Компоненты хорошо выделяются и на спектрах, полученных в 1970—1972 гг. Проником, Чуваевым [6], Нотни и др. [7].

Исходя из вышензложенного, представляются весьма важными систематические наблюдения за Маркарян 6 с целью дальнейшего исследования переменности ее спектра. С другой стороны, так как Маркарян 6 является фактически прототипом для так называемых промежуточных сейфертовских галактик (Sy 1.5), то такие систематические наблюдения могут пролить свет на связь между различными типами сейфертовских галактик и целесообразность введения типов Sy 1.5, Sy 1.9 и т. д.

В конце 1979 г. на 6-м телескопе САО АН СССР со спектрографом СП-160 и ЭОП М9ЩВ получены 5 спектров Маркарян 6 (см. табл. 1). Все спектры охватывают область, включающую линии  $N_1$ ,  $N_2$  и  $H_3$ . Дисперсия спектрограмм около 65 А/мм. Несмотря на то, что спектры не расширены, большой масштаб изображений в первичном фокусе БТА (8.5″/мм) дает при невысоком качестве изображений фактическое расширение спектра до величины около 0.2—0.3 мм.

					a novanien v
N₽	Дата наблюдения	Диспер- сия (А)	Экспозиция	Спектральный интервал (А)	Сорт эмульсни
1	15-16.12.1979	65	40	37005100	103a O
2	16-17.12.1979	65	40	3700-5100	
3	16-17.12.1979	65	30	3700-5100	
4	17-18,12,1979	65	10	3700-5100	17
5	17-18.12.1979	65	20	3700-5100	17

Tak was 1

Обработка спектров производилась на автоматических микроденситометрах PDS Бюраканской астрофизической обсерватории АН Арм. ССР и Джойс Лобел Секции астрономии в Национальной астрофизической обсерватории АН Болгарии. Результаты измерений достаточно хороше совпадают.

На рис. 1 представлены регистрограммы спектров Маркарян 6, полученные в течение трех последовательных ночей (15—17. 12. 1979).

Спектральные данные указывают на наличие эмиссионных компонентов на голубом крыле линий  $H_3$ ,  $H_7$  и  $H_4$ . При этом компоненты у  $H_7$  и  $H_4$  наблюдаются впервые. В шкале доплеровских скоростей компоненты отстоят от центра линий в среднем на расстоянии, соответствующем скорости около 3000 км/с, что совпадает с более ранними определениями этой величины [2, 6, 9].

Компонент у H<sub>3</sub> имеет, по-видимому, некоторую собственную структуру, но на имеющемся наблюдательном материале провести более тоякие измерения не представляется возможным. Ширина самой линии H<sub>3</sub> на уровне половинной интенсивности порядка 15 А, что соответствует доплеровской скорости порядка 850 км/с. Ширина запрещенных линий на уров-



Рис. 1. Регистрограммы слектров Маркарян 6, полученные в течение трех ночей: 15—17. 12. 1979 (обозначены соответственно табл. 1).

не половинной интенсивности практически совпадает с шириной центрального максимума линий Нв.

Суммарная интенсивность компонентов по отношению к интенсивности центральной части линии составляет около 35%, что хорошо согласуется с величиной (40%), определенной Адамсом [9]. Это небольшое различие можно объяснить неопределенностью в проведении уровня непрерывного спектра и в трудности разделения компонентов. На основании вышеприведенных данных нельзя с уверенностью судить об изменении относительной интенсивности компонентов в сторону их уменьшения, хотя такая возможность не исключается.

Определения эквивалентных ширин эмиссионных линий в спектре Маркарян 6, проведенные в разное время, показывают значительное различие их величин. Так, эквивалентная ширина линии Нэ, вычисленная по наблюдениям 1970—1971 гг., равна около 100 A [6]. Та же самая величина из спектров 1972—1973 гг. уменьшается до 65 A [7]. По нашим же данным эквивалентная ширина линии Нэ в конце 1979 г. уменьшилась еще больше и составила 43 A (в данном случае речь идет об эквивалентной ширине динии Нэ со своим компонентом).

Что же касается эквивалентной ширины линии  $N_1 + N_2$ , то сравчение данных для разных моментов также показывает, что она уменьшилась. Средняя величина эквивалентной ширины  $N_1 + N_2$  составляла примерно 350 A в 1970—1971 гг. [6], в 1971—1972 гг. она уменьшилась до 250 A [7], а в конце 1979 г. по нашим данным она равнялась 200 A.

Если в действительности происходит постепенное уменьшение интенсивности компонентов линии  $H_{a}$ , то эквивалентная ширина линии будет уменьшаться. Однако наблюдаемое одновременное уменьшение эквивалентных ширин  $H_{\beta}$  и  $N_1 + N_2$  вероятнее всего является следствием возможного повышения уровня непрерывного спектра. В таком случае одновременное уменьшение интенсивности компонентов линии  $H_{\beta}$  приведет более быстрому уменьшению эквивалентной ширины линии  $H_{\beta}$ , чем у  $N_1 + N_2$ . Такое различие, как отмечено выше, действительно имеет место.

Наряду с этим, могут иметь место и кратковременные изменения интенсивности непрерывного спектра, которые приводят к заметному разбросу в величинах эквивалентных ширин линий, измеренных даже в течение одного цикла наблюдений.

Появление новых компонентов водородных линий в спектре ядра Маркарян б вызывает определенное затруднение в классификации этой сейфертовской галактики по критериям, предложенным в [10]. До появления компонентов эта галактика принадлежала, несомненно, ко второму типу, обладая спектром с запрещенными линиями значительной интенсивности и водородными линиями без заметных крыльев, причем ширины водородных и запрещенных линий были практически одинаковыми и составляли около 15 А на уровне половинной интенсивности.

Появление компонентов изменило общую ширину водородных линий, увеличив ее в несколько раз, и заметно уменьшило отношение интепсивностей  $N_1 + N_2$  к интенсивности  $H_3$ . Эти новые признаки более характерны для сейфертовских галактик первого типа. При этом сохранился также и ряд признаков. характерных для сейфертовских галактик второго типа, как, например, широкие запрещенные линии, хорошо выраженный небулярный спектр и соответствующие цветовые характеристики: U-B == -0.02, B-V = -0.86 [11]. Таким образом, из сейфертовской галактики второго типа возникла сейфертовская галактика, которую ряд наблюдателей относит к так называемому промежуточному типу.

Следует отметить, что среди галактик, отнесенных к промежуточному типу, несмотря на то, что их общее число сравнительно невелико, имеются галактики, водородные линни которых по структуре очень схожи с таковыми в ядре Маркарян 6 после вспышки. В качестве примера можно привести Маркарян 372 [12] или же Маркарян 609, которая считается Остерброком [13] типичным примером сейфертовской галактики промежуточного типа.

На рис. 2 показан участок спектра, содержащий линии  $N_1$ ,  $N_2$  и  $H_3$  для галактики Маркарян 6, полученный усреднением наших спектров, и тот же участок спектра галактики Маркарян 609, взятый из работы Остерброка [13].

Хорошо заметные крылья, которые затрудняют возможность классифицировать галактику как Sy 2 и в действительности представляют собой четко выраженные компоненты, отделенные от центрального максимума хорошо заметным провалом. Такая структура отличается от типичных для Sy 1 широких гладких крыльев. Таким образом, можно предположить, что некоторые ссйфертовские галактики, отнесенные к промежуточному типу, в действительности представляют собой галактики второго типа, в ядрах которых произошла вспышка, сопровождавшаяся выбросом в противоположные стороны масс светящегося в линиях водорода довольно плотного (поскольку компоненты не заметны в запрещенных линиях) газа. Следует отметить, что довольно трудно объяснить наблюдаемый профиль линин Н<sub>β</sub> наличием симметричных относительно ее центра абсорбционных компонентов.

Если ширина компонентов достаточно велика и/или направление движения выброшенных масс газа по отношению к лучу зрения будет ориентировано таким образом, чтобы вновь возникшие компоненты водородных линий не отделились от центрального максимума провалом, то мы будем иметь одну очень широкую и плавную линию. Такую галактику второго

## Э. Е. ХАЧИКЯН И ДР.

типа с выбросом уже трудно будет отличить от сейфертовской галактики первого типа, хотя в ее спектре и других характеристиках будут наблюдаться признаки, свойственные галактикам второго типа. К таким объектам можно отнести. например, радиоисточник OQ 208 (Маркарян 668), который также имеет сложную структуру водородных линий и, будучи отнесен к сейфертовским галактикам типа 1 [14, 15], имеет, однако, весьма интенсивные небулярные линии и очень слабое излучение в линиях Fe II. Интересно в этой связи отметить также, что и Маркарян 6 обладает заметным радиоизлучением [16].



Рис. 2. Участок спектра, содержащий линин  $N_1$ ,  $N_2$  и  $H_3$  для галактик Маркарян 6 (—) и Маркарян 609 (———).

Исходя из вышеизложенного, вряд ли можно считать, что объекты, обозначенные Sy 1.5, являются самостоятельной группой галактик. Вероятно, это кратковременный этап в эволюции галактик типа Sy 2.

Во всяком случае, относительно Маркарян 6 можно уверенно сказать, что до вспышки в ее ядре она была типичной сейфертовской галактикой второго типа по классификации Хачикяна—Видмана [11].

Бюраканская астрофизическая обсерватория Национальная астрофизическая обсерватория АН Болгарии

546

#### О ГАЛАКТИКЕ МАРКАРЯН 6

# ON THE MARKARIAN 6 AND THE PROBLEM OF THE INTERMEDIATE Sy 1.5 TYPE

## E. YE. KHACHIKIAN, V. N. POPOV, A. A. YEGIAZARIAN

The results of the new spectral observations of the variable Sy 2 galaxy Markarian 6 are presented. The spectra have been with obtained 6-m telescope of the SAO of the Academy of Science (of the USSR. The blue components of the hydrogen emission lines discovered by Khachikian and Weedman [2, 3] in 1969 are still presented in the spectrum of this galaxy. One can mark the decrease of the equivalent widths of H<sub>3</sub> as well as of forbidden lines N<sub>1</sub> and N<sub>2</sub>. It is assumed, that the galaxies of the so-- called Sy 1.5 type are probably the short phase in the evolution of Sy 2 galaxies.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Е. Маркарян, Астрофизика, 3, 55, 1967.

2. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян. Астрон. цирк., № 591, 1970.

3. E. Ye. Khachikian, D. W. Weedman, Ap. J., 164, L109, 1971.

4. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 4, 587, 1968.

5. M.-H. Ulrich, Ap. J., 171, L35, 1972.

6. В. Н. Проник, К. К. Чуваев, Астрофизика, 8, 187, 1972.

7. П. Нотни, Э. Е. Хачикян, М. М. Бутслов, Г. Т. Геворкян. Астрофизика, 9. 39, 1973.

8. Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 9, 139, 1973.

9. T. F. Adams. Ap. J., 172, L101, 1972.

10. Э. Е. Хачикян, Д. В. Видман, Астрофизика. 7, 389, 1971.

11. D. W. Weedman, Ap. J., 171, 5, 1972.

12. В. Н. Попов, Р. А. Саркисян, Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 15, 189, 1979.

13. D. E. Osterbrock, Phys. Scripta, 17, 285, 1978.

14. E. M. Burbidge, P. Strittmatter, Ap. J., 172. L37, 1972.

15. Э. К. Денисюк, В. А. Афанасьев. Астрофизика, 12, 665. 1976.

16. R. A. Sramek, H. M. Tovmassian, Ap, J., 191, 633, 1974.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.7

## К ВОПРОСУ О СВЯЗИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК С СОСЕДНИМИ ОБЪЕКТАМИ

#### А. Р. ПЕТРОСЯН

Поступила 8 января 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Образована выборка сейфертовских галактик (СГ), включающая 161 объект. Для . рассмотрения вопроса о связи СГ с соседними объектами применен метод подсчетов галактик в кругах диаметром 1.5 Мпс вокруг фиксированных СГ. Получено, что:

1. СГ участвуют в тенденции скучивания галактик.

2. СГ второго типа показывают более сильную тенденцию участвовать в скучивании галактик, чем объекты первого типа.

3. СГ первого типа чаще являются изолированными, чем СГ второго типа.

4. СГ второго типа чаще входят в изолированные пары галактик, чем объекты первого типа.

Рассмотрен также вопрос реальной и математически ожидаемой связи СГ со скоплениями Цвикки. Получено, что:

1. СГ показывают тенденцию появляться в скоплениях Цвикки.

2. СГ, вероятно, избегают компактных скоплений. Они с большей вероятностью совпадают со скоплениями средней компактности, чем с открытыми.

3. СГ второго типа чаще показывают совпадение со скоплениям, чем объекты первого типа.

4. СГ, которые, вероятно, являются членами скоплений Цвикки, проявляют тенденцию появляться ближе к центрам концентрации галактик в скоплениях.

1. Введение. Существует мнение, что галактики с эмиссионными линиями вообще [1—3] и сейфертовские галактики в частности [2—4] избегают богатых скоплений. Недавно появились противоречащие этому мнению предварительные результаты Шмидта [5] о том, что число сейфертовских галактик в скоплениях соответствует общему возрастанию числа галактик в скоплениях.

В настоящее время число известных сейфертовских галактик превысило сто пятьдесят. Это позволяет более подробно рассмотреть вопрос об участии сейфертовских объектов в тенденции скучивания галактик, что и сделано в настоящей работе.

2. Выборка сейфертовских галактик. В использованную выборку галактик входят объекты, определение которых как сейфертовских совиа-

## СЕЙФЕРТОВСКИЕ ГАЛАКТИКИ И СОСЕДНИЕ ОБЪЕКТЫ 549

дает с обычно принятым (см., например, [6]). Отобраны только те сейфертовские галактики, изображения которых на картах Паломарского обозрения неба (ПА), отличаясь от изображения звезд, имеют размеры ≥ 0.1 мм. В определенную таким образом выборку входит 161 сейфертовская галактика (май, 1980). Обозначим для краткости объекты данной выборки через СГ. Около 84% этих объектов входят в списки объектов Маркаряна. Данные о СГ взяты из оригинальных наблюдений и обзоров [6.7].

3. Метод анализа связи сейфертовских галактик с соседними объектами. Для определения принадлежности СГ к полю или системам разной кратности использован метод подсчетов галактик вокруг фиксированных СГ и сравнение их числа с числом таких же объектов в соседних участках неба. Так как системами наивысшей кратности, членами которых могуг быть сейфертовские галактики, являются скопления галактик, то подсчеты вокруг фиксированных СГ выполнены внутри кругов с угловым диаметром, соответствующим фиксированному линейному диаметру 1.5 Мпс, что является средним для скоплений [8]. Подсчеты выполнены для каждой из СГ на синих картах ПА. При вычислениях угловых диаметров кругов принималось, что H = 75 км/с Мпс.

В качестве критерия возможной связи между СГ и соседними галактиками в круге диаметром 1.5 Мпс в первом приближении взято соотношение

$$0.5 a_{\rm CF} \leqslant a_i \leqslant 2a_{\rm CF} \tag{1}$$

между их угловыми диаметрами, где индексы «сг» и «i» относятся к фиксированной СГ и соседним галактикам соответственно. Иными словами, галактика «i» считается «физически» связанной с СГ, если ее угловой диаметр находится в пределах, указанных в соотношении (1).

Для сравнения выполнены также подсчеты галактик в соседних с СГ участках неба, в кругах с тем же диаметром, что и для соответствующей СГ. Для уменьшения влияния случайных ошибок подсчеты в кругах сравнения выполнялись в четырех положениях: на севере, юге, востоке и западе от СГ, а центры кругов сравнения выбирались на расстоянии два-пять диаметров от соответствующей СГ.

4. Результаты подсчетов. Результаты подсчетов галактик внутри круга вокруг СГ приведены в табл. 1. Табл. 1 содержит последовательно: наименование СГ, число галактик вместе с СГ, удовлетворяющее критерию (1) в круге диаметром 1.5 Мпс вокруг СГ ( $N_{\rm CF}$ ), реальное число соседей СГ, вычисленное как  $N_{\rm CF} - N_{\rm ee}$ , со средним отклонением среднего арифметического (3) числа галактик в четырех кругах сравнений.

По данным 3-го столбца табл. 1 подсчитано количество всех случаев вхождения в разные интервалы о реального числа соседей; для всей вы-4—1019

# А. Р. ПЕТРОСЯН

## Таблица Г

Cľ		NCE	N <sub>Cr</sub> -N <sub>K.c.</sub>	1	2	3
			± a	Маря. 352	18	0+3
1		2	3	358	7	5±1
Manx.	1	25	5+6	372	9	5±1
mapri	3	6	1+1	374	5	4+0
	6	20	16+1	376	7	5 <u>+</u> 1
	9	7	4+1	382	2	$-1\pm 1$
	10	1	-1+1	391	8	6+1
	34	3	0+1	403	14	9+0
	40	48	-23+16	423	16	12-2
	42	6	-2+2	463	1	0+0
	50	19	-4+6	464	18	-2 <b>±3</b>
-	64	3	0+0	471	3	1±1
	69	10	4±1	474	2	0±1
	78	6	1±2	477	6	2 <u>±1</u>
	79	3	0+0	478	15	7 <u>+</u> 2
	106	4	1±1	486	14	2+2
	110	10	-6+1	493	4	3±1
	124	8	3±1	504	11	5±2
	141	13	11±0	506	12	10±1
	142	4	$-1 \pm 0$	507	7	- <u>1</u> ±2
	176	10	-4+2	509	8	4±2
	198	13	6+2	530	3	2 <u>±</u> 0
	205	6	-2+3	533	9	7士1
	231	1	-3 <u>+1</u>	541	4	-1±1
	236	2	-1±1	543	16	10+1
	266	2	1+0	573	4	1±1
	268	11	7±1	584	3	$-1\pm0$
	270	13	1+0	590	3	1±0
	273 ·	8	7+0	595	8	3±1
	279	3	1±1	609	5	3±1
	290	12	1±3	612	4	7+2
	291	28	15-14	618	4	2±1
	298	32	26 <u>+</u> 2	622	19	12-1
	304	4	$-2\pm 1$	634	4	2+1
	309	4	1±1	662	10	ITI
1	315	11	4±1	668	7	-3+1.
	335	* 15	0±1	673	3	
	348	10	4+2	686	5	3±1

# СЕЙФЕРТОВСКИЕ ГАЛАКТИКИ И СОСЕДНИЕ ОБЪЕКТЫ

	T		1	aller i lu	Т (продолжение)		
I	2	3	1	2	3		
Марк. 699	26	16±3	Марк. 984	3	3+0		
700	11 ,	10-+0	993	3	1±1		
704	10	7±1	1014	2	1+0		
705	5	2+1	1018	1	0+0		
715	3	0±1	1040	1	1+0		
716	12	-1+4	1044	6	-4-+3		
720	5	3±1	1048	3	1±1		
728	8	-3+4	1058	14	2+2		
734	10	2 <u>±1</u>	1066	15	10+2		
738	6	-6+1	1073	10	6-1		
739	22	12+4	1095	4	2±1		
744	4	2+1	1098	19	3+4		
745	67	20+8	1126	5	4±1		
759	8	1±1	1127	3	3 <del>1</del> 0		
766	17	6+6	1133	19	6+3		
771	4	-2+2	1146	1	0±1		
783	5	-3 <u>+</u> 2	1149	8	6+3		
789	25	-3+4	1152	7	3±1		
817	3	-2+2	1157	8	3+2		
841	21	16±2	1158	55	8±11		
845	1	0±0	1179	15	9+2		
849	12	I±1	1'187	6	0 <u>+</u> 1		
854	4	I <u>+</u> 1	1330	5	3+1		
860	9	1±2	1376	4	2 <u>+</u> 0		
871	7	2±1	Apax. 79	4	2+2		
876	4	1±1	347	29	21+3		
877	8	1±0	564	7	5-11		
883	7	4土1	NGC 1058	5	5+0		
885	1	0±0	1275	12	10+1		
896	2	0±1	3227	12	6±1		
915	5	4+0	3516	8	2+1		
917	4	2±1	3783	7	2±1		
926	3	1±1	4051	21	17±1		
938	9	8+0	4151	3	-1±1		
945	15	3±3	4235	13	11±1		
955	7	4±1	5548	8	5±1		
975	1	$-1\pm h$	6764	3	2+1		

Таблица 1 (продолжения

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	1	2	3
NGC 6814	1	0+0	I Zw I	2	0+0
7469	4	- <u>3</u> +1	lí Zw 1	3	-6+1
Ton 524a	7	-7 <u>+</u> 3	II Zw 136	4	0+1
3C 120	3	2+0	II Zw 55	8	1-+4
3C 382	6	2+2	Zw 0934+01	10	6+1
3C 390.3	10	4+2	Tol 0109-383	* 4	$-1\pm 2$

борки СГ; для СГ первого типа; для второго и промежуточного типов. Полученные данные приведены в табл. 2. Там же приведены значения отношения числа СГ первого и второго типов к общему числу СГ, а на последней строке — суммарное количество СГ первого, второго, промежуточного типов, а также не классифицированных. Отметим, что классификация СГ основана на относительной ширине эмиссионных линий [9, 10].

							ruoxugu
	N <sub>oõų.</sub>	N <sub>CF1</sub>	N <sub>CF2</sub>	N <sub>СГ1.5</sub>	N <sub>11-11</sub> ,	N <sub>CF1</sub> N <sub>CF</sub>	
$(N_{C\Gamma} - \overline{N}_{R.o.}) \sim -33$	6	4	_		2	0.67	0
$-3\sigma < (N_{\rm C\Gamma} - \overline{N}_{\rm x.c.}) < -\sigma$	19	17	2	-		0.89	0.11
- σ<(N <sub>CΓ</sub> - <u>N</u> <sub>κ.σ.</sub> )≤σ	51	27	20	1	3	0.53	0.39
$\sigma < (N_{\rm CF} - \overline{N}_{\rm k.c.}) < 33$	40	22	16	1	1	0.55	0.40
$3\sigma < (N_{\rm CF} - \overline{N}_{\rm K,c.})$	45	22	22	1	- 1	0.49	0.49

60

3

6

161

92

Из выборки СГ производилось выделение изолированных СГ и СГ компонентов изолированных пар галактик. Оно производилось, во-первых, с помощью каталогов изолированных галактик [11] и изолированных пар галактик [12], во-вторых, самостоятельно выделялись те СГ, которые удовлетворяют критериям изолированности, введенным в [11], или критериям для вхождения в изолированную пару, введенным в [12], но которые не рассматривались в работах [11, 12] в основном из-за того, что или они сами, или их соседи не входят в каталог [13—16]. Отметим, что критерии изолированности и критерии для вхождения в изолированную пару, введенные в [11, 12], рассчитаны для объектов ярче 15<sup>m</sup>7. Использование тех же критериев для объектов, звездные величины которых не определены, но которые не слабее 17<sup>m</sup>, приводит к возрастанию вероятности обнаружения ложных случаев изолированности и изолированных пар галактик.

Сумма

Ниже приведены наименования выделенных изолированных СГ и СГ, входящих в изолированные пары галактик. Для объектов, входящих в [11, 12], в скобках приводятся также их соответствующие каталожные номера.

Изолированные СГ: Маркарян 309 (993); 382 (214); 493 (719); 885 (745); 34, 50; 142; 507; 975\*; 1044; NGC 6814; 1 Zw 1.

СГ — члены изолированных пар галактик: Маркарян 266 (388); 506 (510b); 744 (295а); 984 (29а); 1376 (419а); NGC 3227 (234b); NGC 4151 (324b); NGC 7469 (575а); III Zw 55 (93а); Маркарян 40; 477; 504; 595; 612; 860; 1152; 3C120.

В тех случаях, когда избыток числа галактик в областях вокруг СГ больше З $\sigma$ , рассматривался вопрос распределения галактик в кругах. Оказалось, что почти с равной вероятностью СГ может быть членом и компактной, и широкой группы, причем группа классифицировалась компактной или широкой по Руду [17].

Некоторые яркие СГ отнесены к определенным группам галактик в работах [8, 18]. Членами трупп Тэрнера и Готта [18] являются следующие СГ (в скобках указаны номера групп по [18]): Маркарян 744 (44); 759 (57); 766 (53); NGC 3227 (21); NGC 3516 (32); NGC 4151 (52); NGC 4235 (57); NGC 5548 (85). Интересно отметить, что две СГ — Маркарян 759 (NGC 4152) и NGC 4235 в [18] отнесены к одной группе (N<sup>6</sup> 57) галактик. Разница их лучевых скоростей равна 450 км/с, в то время как тангенциальное расстояние между ними большое: 8.83 угл. градусов или 4.3 Мпс при H = 75 км/с Мпс.

В [8] к близким группам галактик отнесены следующие СГ (в скобках отмечено наименование группы): NGC 1068 (Cet I); NGC 3227 (группа NGC 3190); NGC 4051 (CVn II); NGC 4151 (UMa Z): NGC 4235 (Virgo W).

Вопрос о вхождении сейфертовских галактик в скопления галактик будет рассмотрен ниже. Отметим только, что из всех тех СГ, для которых  $(N_{\rm CF} - \overline{N}_{_{\rm K.C.}}) \leqslant 3^3$ , только 28% показывают совпадение со скоплениями Цвикки, тогда как из всех тех СГ, для которых  $(N_{\rm CF} - \overline{N}_{_{\rm K.O.}}) > 3^3$ , совпадение показывают 63%.

Для выявления возможных эффектов селекции при подсчетах галактик вычислены выборочные коэффициенты корреляции между количеством: галактик в кругах вокруг СГ; в кругах сравнения; реальных соседей СГ и между величинами  $\lg z_{\rm CF}$ ,  $\lg d_{\rm CF}^{\sigma}$ . Отметим, что видимые фотографические величины СГ в основном взяты из [13—16]. В остальных случаях использованы оценки видимых величин по [1, 19—23]. Диаметры галактик определены по ПА с точностью до 0.05 угл. минут. Вычислен

<sup>\*</sup> Эта галактика удовлетворяет критериям изолированности только на синей карте ПА.

также доверительный интервал по уровню достоверности p = 0.05 и для объема выборки N = 161, в предположении, что истичный коэффициент корреляции равен нулю (нулевая гипотеза). Значения с постоянным доверительным интервалом  $\pm 0.162$  получились следующими (табл. 3):

		7	аблица З
	lg zor	m' <sup>CГ</sup>	lg d <sub>Cr</sub>
N <sub>CF</sub>	-0.180	0.952	-0.154
N <sub>s.c.</sub>	-0.087	0.170	-0.284
N <sub>Cr</sub> -N <sub>x.c.</sub>	-0.196	-0.166	0.174

Как видно из табл. 3, число реальных соседей СГ слабо коррелирует с  $\lg z_{C\Gamma}$ , и есть почти незаметная корреляция от  $m_{\rho}^{C\Gamma}$  и  $\lg d_{C\Gamma}^{}$ . Другими словами, увеличение красного смещения галактик, их визуальное ослабление и уменьшение видимых размеров приводят в разной мере к потере соседей СГ. Это и есть эффект селекции.

5. Случаи совпадения сейфертовских галактик со скоплениями. Для выяснения вопроса реальной связи СГ со скоплениями использованы данные о скоплениях Цвикки по каталогу [13—16], так как отмеченные в каталоге контурные линии скоплений упрощают вопрос отнесения той или иной СГ к скоплению. Так как для всех СГ выборки известны расстояния, то рассматривался не только вопрос геометрического совпадения положения СГ со скоплением, но и вопрос совпадения с классом расстояния скопления. Следует отметить, что вследствие ограничения по <sup>3</sup> (в каталог [13—16] входят объекты с  $4 \gtrsim -4^\circ$ ), только для 144 СГ из всей выборки рассмотрен вопрос совпадения со скоплениями Цвикки.

При рассмотрении совпадения по положению и красному смещению СГ со скоплением оказалось, что из всех 144 галактик только 54 могуг быть членами скоплений Цвикки. Остальные 90 объектов или находятся вне контурных линий скоплений, или расстояние СГ не совпадает с классом расстояния скопления. Данные о 54 СГ, которые согласно вышесказанному могут быть членами скоплений Цвикки, приведены в табл. 4—7.

Недавно в [24, 25] опубликованы каталоги скоплений галактик с известными красными смещениями. На основе этих каталогов возможно более определенно рассмотреть вопрос членства в скоплении некоторых СГ.

Вследствие того, что скорости реальных членов скопления галактик мотут отличаться от среднего для скопления даже на 5000 км/с (см., например, [26]), принято, что СГ реально является членом скопления, если разница лучевой скорости скопления и СГ меньше 2000 км/с. Такие случан даны в табл. 4, где приведены: наименование СГ; ее красное смеще-

## СЕЙФЕРТОВСКИЕ ГАЛАКТИКИ И СОСЕДНИЕ ОБЪЕКТЫ 555

			and the second second				donuga 4
Cr z <sub>cr</sub>		2 <sub>CL</sub>	Скопле	оние № по Эйблу	Населенность скопления по Цвижки	Z <sub>CKORA.</sub>	ΔV <sub>r</sub> (км/с)
Марк.	1	0.016	0107.5+3212		Ср. комп.	0.018	600
	69*	0.076	1339.9+3030	1781	17 44	0.0762	60
	291	0.035	1600.4+1925	2151	<b>11</b> (1	0.036	300
	298	0.034	1600.4-1925	2151	34 85	0.036	600
	352	0.015	0107.5+3212		97 94	0.018	900
	423	0.032	1123.9+3541	1257	Откр.	0.0339	570
	504	0.036	1701.4 - 2830			0.0337	690
	673	0.036	1424.0+2613		Ср. комп.	0.034	600
	699	0.034	1625.5+4006	2199	PF 18	0.0312	840
	728	0.034	1058.6+1049	1142	67 TT	0.036	600
	993	0.017	0107.5+3212			0.018	300
	1066	0.012	0303.0+4125	ı 426		0.0183	1890
	1073	0.024	0303.0+4125	426	94 99	0.0183	1710
	1133	0.024	2335.5+2449	2634	93 99	0.0307	2010
NGC	1275	0.018	0303.0+4125	426	47 11	0.0183	90

T a	6.			- 5
	0.0	uu	,u	0

СГ	ZCL	Скопление № по Цвикки	2 CKON.	ΔV, (RM/C)
Марк 176	0.027	1138.7+5650	0.0342	2160
739	0.030	1142.1+2126	0.0214	2580
766	0.013	1217.5+2915	0.003	2700
789	0.032	1327.3+1145	0.0223 -	2910

Таблица б

CF z		źĊr	Скопление № по Цвикки	É <sub>CRON</sub> .	1V, (RM / C	
Марк.	268	0.041	1339.9+3030	0.0762	10560	
	358	0.046	0107.5-3212	0.018	8409	
	533	0.029	2320.0+0845	0.0134	4680	

\* Значение красного смещения скопления Zw 1339.9+3030 = А 1781 взято из ра--боты [27].

#### А. Р. ПЕТРОСЯН

200							
1	0	6	- 41	24	25	a	
	100	•	~			-	

СГ		Скопленно Цвикки		C	СГ		Скопление Цвшкки	
Марк.	6	Zw	0642.0+7334	Марк.	622	Zw	0801.3+3954	
	9		0733.4+6102		662		1353.2+2508	
	10		0733.4+6102		700		1704.9+3056	
	42		1058.6+4611	-	704		0909.7+1814	
	79		0739.8+4949		715		1003.6+1443	
	205		1230.3+7450		716		1006.3+2320	
	236	-	1302.2+6243		883		1628.0+2438	
	374		0628.9+5232		1040		0226.0+2600	
	382		0745.5+4020		1127		2256.8 - 2445	
	391		0836.3+4147		1179		0226.0-2600	
	403		<b>0941.7+243</b> 0		1187		0248.0+1307	
	463		1354.0+1834	Арак	. 347		1202.2+2028	
	493	100	1552.5+3435	NGC	3227		1020.1+2046	
	506		1722.8+3120		3516		1112.7 - 7259	
	530		2316.5 -0046		6764		1916.8+4855	
	595	-	0240.6-1-0740		7469	_	2259.6-+0746	

ние; номер скопления по Цвикки; номер скопления Эйбла, отождествленного с данным скоплением Цвикки; населенность скопления по Цвикки; красное смещение скопления; разница лучевых скоростей скопления и галактики.

Если разность лучевых скоростей скопления и СГ лежит в пределах 2000 км/с  $< \Delta V_r < 4000$  км/с, то членство СГ в скоплении поставлено под вопросом. Такие случаи собраны в табл. 5.

Если разница лучевой скорости скопления и СГ больше 4000 км/с, то вероятно, что СГ совпадает со скоплением вследствие проектировки. Среди рассмотренных нами случаев таких три. Эти случаи приведены в табл. 6

В табл. 7 собраны те случан совпадения, при которых точные значения красных смещений скоплений неизвестны.

Отметим также, что в [27] сейфертовская галактика Маркарян 106 рассматривается как вероятный член скопления А784 (Zw 0917.9+5508). хотя она отстоит на 25 угл. минут от центра скопления и не захватывается контурной линией, соответствующей А784 скопления Цвикки, и поэтому не включена в число 54 отмеченных галактик.

6. Ожидаемые случаи совпадения СГ со скоплениями. Для определения ожидаемого числа случаев совпадения СГ со скоплениями следует фиксировать занимаемый ими объем пространства. Во-первых, ограничим.

## СЕЙФЕРТОВСКИЕ ГАЛАКТИКИ И СОСЕДНИЕ ОБЪЕКТЫ 557

пространство по 2, рассматривая только объекты с 2 50.050 (класс расстояния, «близкий» по Цвикки). Во-вторых, рассмотрим область неба, определяемую условиями, аналогичными условиям работы [28]:

$\alpha = 3^{h}0 - 5^{h}5,$	$-4^\circ \leqslant \delta \leqslant 10^\circ$ ,
$\alpha = 6^{h}0 - 18^{h}0,$	$\delta \gg -4^{\circ}$ ,
$a = 20^{h}5 - 3^{h}0$ ,	č > − 4°

и |b" | ≥ 20°. Площадь такой области равна ~ 13000 кв. градусов.

Из выборки СГ в это пространство входят 109 объектов. По каталогу [13—16] в рассматриваемое пространство входят 236 «открытых» скоплений Цвикки с суммарной площадью 1370 кв. град., 185 «средней компактности» скоплений с суммарной площадью 937 кв. град. и 24 «компактных» скопления с суммарной площадью 69 кв. град.

Если считать, что вероятность независимого появления некоторого числа СГ на суммарной площади скоплений определяется законом Пуассона, то наиболее вероятно, что случайное число совпадений должно равняться наблюдаемому среднему числу совпадений. Исходя из этого, составлена табл. 8, в которой приведены числа ожидаемых случайных совпадений и наблюдаемых совпадений СГ с «близкими» скоплениями Цвикки разной населенности, со всеми скоплениями и с полем, независимо от точных значений лучевых скоростей тех и других.

		Таблица д			
Тип скопления	N				
по Цвикки	ожидаемые случайно	наблюденные			
Открытые	11.5+3.4	20			
Ср. компактности	7.9+2.8	24			
Компактные	0.6+0.8	0			
Все скопления Цвикки	20.0+4.5	44			
Поле	89.2+9.4	65			

7. Обсуждение. Из результатов подсчета галактик в кругах днаметром 1.5 Мпс вокруг СГ и в кругах сравнения можно сделать следующие выводы:

1. Сейфертовские галактики участвуют в тенденции скучивания галактик. Это, во-первых, видно из табл. 2, где для более 50% СГ количество реальных соседей превышает э. Во-вторых, при аппроксимации функции  $\overline{N}_{\text{к.с.}} = f(N_{\text{СГ}})$  линейной зависимостью для угла наклона аппроксимированной линии получается значение 36° (выборочный коэффициент корреляции между  $\overline{N}_{\text{к.с.}}$  и  $N_{\text{СГ}}$  равен  $r = 0.799 \pm 0.162$ ).

2. 12 СГ (7% выборки) являются изолированными по критериям работы [11].

3. 17 СГ (11% выборки) являются компонентами изолированных пар галактик по критериям работы [12].

4. 10 ярких СГ отнесены к близким группам галактик [8, 18], но следует предположить, что не только эти, но и большинство других СГ, реальное количество соседей которых больше  $\sigma$ . вероятно входят в группы галактик.

Сопоставляя же число реальных и ожидаемых случайно совпадений СГ со скоплениями Цвикки разной населенности, со скоплениями вообще и с полем (см. табл. 8), можно сделать следующие выводы:

1. СГ показывают тенденцию появляться в скоплениях Цвикки, чтэ, как известно, характерно и для остальных галактик.

2. В работах [2, 3] сделан вывод, что сейфертовские галактики избегают компактных скоплений. По нашим данным, это не столь очевидно Необходимо более детальное рассмотрение этого вопроса, учитывающее общее число галактик в компактных скоплениях Цвикки.

3. СГ с большей вероятностью совпадают со скоплениями средней компактности, чем с открытыми.

Интересно выявить местонахождение СГ относительно контурных линий скоплений Цвикки. Оказалось, что из 54 СГ 27 располагаются на краях скоплений (дальше 2/3 радиуса круга, центр которого — ближайшее к СГ сгущение галактик, а радиус — расстояние от этого сгущения до соответствующего участка контурной линии скопления), 12 СГ находятся вблизи центров скоплений (ближе к центрам концентраций галактик в скоплении, чем 1/3 радиуса), а 15 занимают промежуточное положение.

Если в первом приближении допустить, что СГ с равной вероятностью может появляться в любом месте внутри контурной линии скопления, то в отмеченных выше областях ожидаемое количество СГ должнэ быть 30:6:18. Наблюдения же дают следующие числа: 27:12:15. Таким образом, СГ в 2 раза чаще совпадают с центрами концентрации галактик в скоплениях, чем можно было бы ожидать при их равновероятном появлении в любом месте внутри скоплений. Так как известно, что остальные галактики в скоплениях показывают аналогичную тенденцию, то можно, по всей вероятности, утверждать, что распределение СГ по расстояниям от центров скоплений не отличается от соответствующего распределения других галактик (см. работу [29]). Это можно рассматривать как дополнительное доказательство связи СГ со скоплениями. Из 161 галактики, входящей в выборку СГ, 92 являются объектами первого типа, 60 — объектами второго типа и 3 объекта — промежуточного 1.5 типа. Следовательно, при равновероятном появлении СГ первого и второго типов в системах галактик разной кратности отношение числа СГ первого и второго типов к общему числу СГ в выборке должно равняться 0.57 и 0.37 соответственно.

Значения отношений  $N_{\rm CFI}/N_{\rm CF}$  и  $N_{\rm CF2}/N_{\rm CF}$ , приведенных в последних двух столбцах табл. 2, показывают, как меняется число СГ первого и второго типов относительно общего числа СГ в зависимости от интервала  $\sigma$ . Видим, что СГ второго типа показывают более сильную тенденцию участвовать в скучивании галактик, чем объекты первого типа.

В выборке СГ среднее значение красного смещения для объектов первого типа равно  $0.045 \pm 0.003$ , а для объектов второго типа  $0.028 \pm 0.002$ . Таким образом, в выборке СГ первого типа в среднем отстоят дальше СГ второго типа, что, очевидно, связано с более высокой светимостью первых. Как отмечалось выше, существует слабая селекция при подсчетах галактик в кругах по z. Тогда отмеченная выше тенденция СГ второго типа « более сильному скучиванию, по сравнению с СГ первого типа, в какой-то мере отягощена эффектом селекции по z.

Среди тех СГ, которые являются членами изолированных пар галактик, 9 объектов второго типа, б первого типа ( $N_{\rm CP1}/N_{\rm CP}=0.4, N_{\rm CP2}/N_{\rm CP}==0.6$ ). Следовательно, СГ второго типа почти в два раза чаще входяг в изолированые пары галактик, чем можно было ожидать при равновероятном появлении с объектами первого типа.

Из 12 изолированных СГ 8 являются объектами первого типа. 3-второго, а один объект-промежуточного 1.5 типа ( $N_{\rm CFI}/N_{\rm CF}=0.67$ ,  $N_{\rm CF2}/N_{\rm CF}=0.25$ ). Это означает, что действительное число СГ первого типа. которые являются изолированными. в 1.8 раза выше, чем имели бы при равновероятном с СГ второго типа появлении, как изолированных.

Из 54 совпадающих со скоплениями СГ 27 — объекты первого типа, 26 — второго<sup>\*</sup>. Следовательно, для СГ, которые, вероятно, являются членами скоплений, имеют место отношения —  $N_{C\Gamma I}/N_{C\Gamma}$  0.50 и  $N_{C\Gamma 2}/N_{C\Gamma}$  = = 0.48, т. е. СГ второго типа в 1.5 раза чаще показывают совпадение со скоплениями, чем объекты первого типа, если вероятность совпадения со скоплениями объектов обоих типов одинакова. Только для СГ, реально являющихся членами скоплений (табл. 4), СГ второго типа уже примерно в 2.3 раза чаще показывают совпадение со скоплениями, чем объекты пер-

Учитывались все объекты, совпадающие со скоплениями, так как, во-первых, зна чения красных смещений скоплений нуждаются в подтверждении, во-вторых, среди остальных СГ, для которых вопрос точного отнесения к определенному скоплению не рассматривался, также вероятны случаи оптической проекции на скопление.
вого типа. Этот вывод подтверждает предварительный аналогичный результат Шмидта [5].

7. Заключение. Таким образом, получено, что:

 Сейфертовские галактики участвуют в тенденции скучивания галактик.

2. Сейфертовские галактики, проявляя тенденцию появляться в скоплениях Цвикки, вероятно избегают компактных скоплений. Они показывают тенденцию появляться ближе к центрам концентрации галактик в скоплениях.

3. Сейфертовские галактики первого типа чаще являются изолированными, чем объекты второго типа.

4. Сейфертовские галактики второго типа чаще входят в изолированные пары галактик, чем объекты первого типа.

5. Сейфертовские галактики второго типа чаще показывают совпадение со скоплениями, чем объекты первого типа.

Последние три вывода подтверждают полученный выше результат о том, что сейфертовские галактики второго типа вообще показывают более сильную тенденцию участвовать в скучивании галактик, чем объекты первого типа.

Автор признателен рецензенту за полезные замечания\*.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

# ON THE QUESTION OF THE RELATION OF SEYFERT GALAXIES WITH NEIGHBOURING OBJECTS

### A. R. PETROSSIAN

A sample of 161 Seyfert galaxies (SG) is formed. For the examination of the question on the relation of SG of the sample with their neighbouring objects, the method of calculation of objects in the circles with diameter 1.5 Mpc around the fixed SG is applied.

It is obtained that:

1. SG participate in the tendency of clustening of galaxies.

<sup>\*</sup> После сдачи статъм в печатъ мы узнали о заметке Аракеляна и Теребижа [30]. Таблица, приведенная в указанной заметке, содержит аналогичные данные для части сейфертовских галактик, включенных в табл. 4 настоящей работы.

2. Sy 2 show stronger tendency to participate in clustering of galaxies than Sy 1.

3. Sy 1 are more often isolated than Sy 2.

4. Sy 2 belong more often to isolated pair of galaxies than Sy1. The question of real and mathematically 'expected correlation of SG of the sample with Zwicky's clusters is considered.

It is obtained that:

1. SG show the tendency to appear in Zwicky's clusters.

2. SG probably avoid compact Zwicky's clusters. They coincide with greater probability with medium compact clusters than open ones.

3. Sy 2 more often show coincidence with clusters, than Sy 1.

4. SG are probably members of the clusters which show the tendency to appear near the centers of concentrations in clusters.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Б. Е. Маркарян, Астрофизика, 3, 55, 1967.
- 2. Б. В. Комберг, Препринт ИКИ, № 274, 1976.
- 3. G. R. Gisler, M. N., 183, 633, 1978.
- 4. S. van den Bergh, Ap. J., 198, L1, 1975.
- 5. К.-Х. Шмият, в кн. «Крупномасштабная структура Вселенной», Мир, М., 1981. стр. 120.
- 6. D. W. Weedman, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 15, 69, 1977.
- 7. D. W. Weedman, M. N., 184, 11P, 1978.
- 8. G. de Vaucouleurs, in: "Stars and Stellar Systems", eds. A. Sandage, M. Sandage, J. Kristian, Chicago Univ. of Chicago Press, 9, 1975, p. 557.
- 9. D. W. Weedman, Ap. J., 159, 405, 1976.
- 10. E. Ye. Khachikian, D. Weedman, Astrophizika, 7, 389, 1971.
- 11. В. Е. Караченцева, Сообщ. САО АН СССР, вып. 8, 3, 1973.
- 12. И. Д. Караченцев, Сообщ. САО АН СССР, вып. 7, 3, 1972.
- 13. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies. 1, 1961.
- 14. F. Zwicky, E. Herzog, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, 2, 1963; 3, 1966; 4, 1968.
- 15. F. Zwicky, M. Karpowicz, C. T. Kowal, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, 5, 1965.
- 16. F. Zwitcky, C. T. Kowal, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, 6, 1968.
- 17. H. J. Rood, Ap. J., 188. 451, 1974.
- 18. E. L. Turner, J. R. Gott III, Ap. J. Suppl. ser., 32, 409, 1976.
- 19. Б. Е. Маркарян, Астрофизика, 5, 443, 581, 1969.
- 20. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Астрофизика, 7, 571, 1971; 8, 155, 1972; 9, 487, 1973; 10, 307, 1974; 12, 389, 657, 1976.

- 21. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, Астрофизика, 13, 225, 397, 1977; 15, 201, 1979.
- 22. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, M. Corwin, Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Austin, 1976.
- 23. S. W. Prata, P. A. S. P., 78, 61, 1966.
- 24. T. W. Noonan, Ap. J. Suppl. ser., 45, 613, 1981.
- 25. Т. С. Фетисова, Астрон. ж., 58, 1137, 1981.
- 26. S. A. Gregory, Ap. J., 199, 1, 1975.
- 27. H. G. Corwin Jr., A. J., 79, 1356, 1974.
- 28. В. Ю. Теребиж, Астрофизика, 16, 45, 1980.
- 29. М. А. Аракелян, В. Ю. Теребиж, Письма АЖ, 8, 139, 1982.
- 30. М. А. Аракелян, В. Ю. Теребиж, Астрон. цирк., № 1188, 1, 1981.

562

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.352

# О ЧАСТОТЕ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ В ГАЛАКТИКАХ ТИПА Sc

# Р. Г. МНАЦАКАНЯН

Поступила 5 февраля 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Средняя частота вспышск сверхновых в гаалктиках тыца Sc определена методом, который использовался для вычисления средней частоты вспышек вспыдявающих звеза в звездных агрегатах [10—11]. Средний промежуток времени между двумя последовательными вспышками сверхновых в одной галактике типа Sc ярче 12. О равен 48 годам. Для рассмотренной группы галактик не удалось выявить четко выраженной зависимо сти частоты вспышек от светимости галактики-родижельницы.

1. Введение. Вспышки сверхновых (СН) являются наиболее быстрыми и вместе с тем бросающимися в глаза процессами среди оптически наблюдаемых изменений в отдаленных галактиках.

Определение средней частоты вспышек СН — одно из наиболее распространенных направлений исследований. Однако результаты этих исследований весьма разноречивы [1—6] и далеки от достаточно обоснованного и окончательного решения. Появляются все новые работы, где предлагаются разные методы определения средней частоты вспышек СН [7—9].

В настоящей работе для определения средней частоты вспышек СН используются методы, применяемые для определения средней частоты вспышек вспыхивающих звезд в звездных агрегатах (см., например, [10, 11]).

Вспышки СН в различных галактиках—случайные, независимые друг от друга явления. Последовательные вспышки в одной галактике тоже независимые явления. Это вытекает из того, что в тех случаях, когда в одной и той же галактике наблюдалось более одной вспышки, то они происходили в удаленных друг от друга ее частях. Поэтому следует ожидать, что чередование вспышек СН в одной галактике, по крайней мере за вре мя до одного миллиона лет, можно представить как последовательность случайных событий, подчиняющихся закону Пуассона.

С другой стороны, галактик, в которых наблюдалось несколько СН, очень мало. Между тем, определение средней частоты вспышек, т. е. зна-

чения параметра, входящего в закон Пуассона, из наблюдений отдельных галактик требует регистрации не 4—5 CH, а по крайней мере нескольких десятков вспышек CH в одной галактике, для чего потребуются тысячи лет наблюдений. Поэтому заниматься определением частоты вспышек CH по отдельным галактикам практически невозможно. Однако можно использовать результаты наблюдений большого числа галактик при допущении, что CH в них вспыхивают с одинаковой частотой. В дальнейшем, при расширении наблюдательного материала, можно будет отказаться от этого ограничения и искать не одну частоту, а распределение частот вспышек.

Неравномерность распределения промежутков времени, в которые ведутся наблюдения каждой отдельной галактики, возникающая из-за естественных перерывов в наблюдениях (время года, суток, погода, непредсставление телескопа и т. д.), т. е. причин совершенно случайных для самого процесса вспышки, должна влиять в смысле приближения характера процесса к пуассоновскому, если даже он по каким-то причинам отличается от последнего.

Согласно закону Пуассона вероятность наблюдения k вспышек, или математическое ожидание числа галактик с k CH за эффективное время наблюдений т, определяется формулой

$$n_k = N \frac{e^{-p \cdot \tau} (p \cdot \tau)^k}{k!}, \qquad (1)$$

где у — средняя частота вспышек СН,  $\tau$  — эффективное время наблюдений, а p — вероятность обнаружения вспыхнувшей СН в какой-либо галактике.

Обозначим показатель степени в (1) через

$$a = p \mathbf{y}^{\star}. \tag{2}$$

Эная из наблюдений числа галактик, имеющих 0, 1, 2 и т. д. вспышек СН, можно попытаться найти такое значение постоянной а закона Пуассона, при котором наблюденные значения наилучшим образом согласуются с вычисленными математическими ожиданиями.

Поскольку нашей конечной целью является нахождение не параметра а. а частоты ч. то нам следует подобрать такую группу галактик, для которой можно оценить p и  $\tau_{max}$ .

2. Подбор группы галактик. Работами последних лет установлено, что частота вспышек СН зависит как от морфологического типа, так и от светимости галактики-родительницы [2, 6, 8, 9], поэтому надо подобрать морфологически однородную группу галактик, для которой можно будет принять, что СН в ней вспыхивают с одинаковой частотой. Ревизия всех 347 галактик ярче  $B=12^{m}0$  каталога Вокулера [12] на предмет вопышки в них CH (использовался каталог П. Флина и др. [13], дополненный данными о CH, открытых в период с 1977 г. по 1979 г. включительно, из "Circular of Central Bureau for Astronomical Telegramms") показала, что галактики южного полушария патрулировались меньше, чем галактики северного полушария. В 239 галактиках северного полушария ( $\delta > -10^\circ$ ) было зарегистрировано 75 CH, а в 108 галактиках с  $\delta < -10^\circ$  — всего 10 CH, т. е. в галактиках северного полушария было открыто примерно в четыре раза больше CH, чем в галактиках южного полушария.

Известно, что галактики типа Sc обладают наибольшей средней частотой вспышек CH [7—9, 14]. Наблюдатели уделяют большое внимание патрулированию этих галактик [15]. Поэтому наблюдательный материал этой морфологической группы наиболее полный, что весьма важно для его статистической обработки. К примеру, в 72 галактиках Sc ( $B \leq 12^{m}$ 0) зарегистрировано 43 CH, а в 73 галактиках Sb, такого же видимого блеска, — всего 20 CH.

Поэтому для нахождения средней частоты вспышек СН нами будуг использованы данные о регистрации вспышек в 72 галактиках типа Sc ярче  $12^{m}0$  северного полушария ( $\delta > -10^{\circ}$ ).

3. Определение вероятности нахождения сверхновой. В исследуемой группе галактик имеются 57 галактик, для которых определены классы светимости. Кроме того имеются 15 галактик, для которых классы светимости не были определены. Эти галактики пропорционально распределены между различными классами светимости, т. е. к числам галактик  $N_g$ , приведенным в первой строке табл. 1, прибавлены приращения, пропорциональные доле галактик данного подкласса среди всех галактик с известными классами светимости, с тем условием, чтобы сумма приращений была равна 15. Четыре из этих 15 галактик, в которых вспыхнуло по одной CH.

					Гиолици /
Класс свет.	Se I	Se Il	Se III	Se IV	Sc (I-IV)
Ng Доля	25 0.44	21 0.38	10 0.1 <b>7</b>	1 0.02	57

были распределены по тому же принципу между подклассами Sc I и Sc II. В табл. 2 приведено полученное таким образом распределение галактик типа Sc по классам светимости и по числу CH в них. 5-1019 Бросается в глаза то, что при почти равном числе галактик в подклассах Sc I и Sc II число галактик, имеющих CH— ( $N_g$  (CH), в Sc II почти вдвое меньше числа в Sc I, а число CH даже втрое меньше, чем в Sc I.

		К	ласс свети	имости	
nk	Se I	Se II	Se III	Se IV	Sc (I-IV)
no	18	21	7	0	46
<i>n</i> <sub>1</sub>	6	6	4	0	16
n <sub>2</sub>	4	0	1	1	6
<i>n</i> <sub>3</sub>	1	1	0	0	2
74	1	0	0	0	1
n <sub>5</sub>	1	0	. 0	0	1
Ng	31	28	12	1	72
Ng (CH)	13	7	5	1	26
CH	26	9	6	2	43

Следует обратить внимание на то, что среди галактик Sc II нет ни одной галактики с двумя CH.

Для самых ярких галактик, в которых сверхновые могут наблюдаться с помощью современных телескопов в течение целого года, вероятность пропуска СН ничтожно мала.

Поэтому для дальнейшего обсуждения выделим самые яркие и близкие галактики нашей выборки, галактики Sc I. Разделим их на три группы по видимому блеску так, чтобы число галактик в каждой последующей группе было примерно вдвое больше, чем в предыдущей.

Рассмотрим, как изменяется число галактик, имеющих k сверхновых, в разные периоды наблюдений: с 1885 г. по 1949 г. и с 1950 г. по 1979 г. Периоды выбраны так (в предположении), что более или менее регулярные наблюдения за вспышками СН начались после 1950 г.

Табл. 3 показывает, что вместе с ростом числа галактик за весь период наблюдений при переходе от первой (по видимому блеску) ко второй группе наблюдается рост числа галактик, имеющих СН, в три раза, а число СН возрастает примерно в два раза.

Из таблицы видно, что в первой групле число галактик, имеющих СН, группе наблюдается рост числа галактик, имеющих СН, в три раза, а число СН во второй период даже уменьшилось. Интересно, что за весь период наблюдений из четырех галактик этой группы в двух не было вспышек

	_										1 40.	ruga .
	Sc1 (B<10, 2)		) <sup>m</sup> 2) Scl(10 <sup>m</sup> 3 < < B < 11 <sup>m</sup> 0)		$Sel (11^m 1 < < < B < 12^m 0)$			Sel (B<12 <sup>m</sup> 0)				
"k	40 1949	после 1950	1885— 1979	до 1949	после 1950	1885 — 1979	40 1949	после 1950	1885 — 1979	40 1949	после 1950	1885- 1979
no	2	2	2	6	2	2	19	14	14	27	18	18
<i>n</i> <sub>1</sub>	1	1	0	1	2	2	0	4	4	2	7	6
<i>n</i> <sub>2</sub>	0	1	1	1	4	2	0	1	1	1	6	4
<i>n</i> <sub>3</sub>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
n4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
n <sub>5</sub>	0	0	1	0	0	, 0	0	0	0	0	0	1
Ng	4	4	4	8	8	8	19	19	19	31	31	31
Ng (CH)	2	2	2	2	6	6	0	5	5	4	13	13
CH	4	3	7	3	10	13	0	6	6	7	19	26

CH, хотя в двух других было более чем по одной вспышке (NGC 157—0, NGC 5194—0, NGC 5457—2, NGC6946—5).

Поскольку полное число наблюденных СН во второй период не увеличилось по сравнению с первым, то естественно предположить, что все СН, вспыхнувшие в галактиках Sc I, ярче 11<sup>т0</sup>, были зарегистрированы. По-видимому, можно допустить, что вероятность обнаружения СН в этих галактиках близка к единице. Каково точное значение этой вероятностя, мы не знаем; ниже принимаем, что оно равно 1. Вероятность обнаружения СН в галактиках умеренного видимого блеска  $11^m 1 \le B \le 12^m 0$  можно определить после нахождения частоты вспышек СН в галактиках Sc I. Возможно, она будет намного меньше единицы.

4. Вычисление эффективного времени наблюдений. В последней строке (СН) табл. 3 приводятся сведения о числе СН, открытых в разные периоды наблюдений. Только в первой группе число СН, открытых за последние 29 лет. уменьшилось. В двух других группах это число значительно возросло по сравнению с первыми 64 годами наблюдений. Предполагая, что за последние 29 лет наблюдения за СН велись с достаточной интенсивностью, вычислим скольким годам наблюдений эквивалентны найденные в первый период СН. Например, в галактиках Sc I ( $B \le 10^m 2$ ) за 29 лет было зарегистрировано 3 СН, значит 4 СН, открытые в предыдущие 64 года, должны были быть зарегистрированы за 38 лет. Поэтому полное эффективное время «наблюдений этой группы галактик равно 67 годам. Соответственно для галактик Sc I ( $10^m 3 < B < 11^m 0$ ) и ScI ( $11^m 1 < B < 12^m 0$ ) оно равно 38 и 29 годам.

Таким же образом вычисляются  $\tau_{s\phi\phi}$  для других подклассов светимости, отдельно для галактик ярче  $11^{m}0$  и для всех галактик  $B \leq 12^{m}0$ . Результаты подсчетов приведены в табл. 4.

Tab www.a A

	1	Чис	ло СН			
Класс свет.	B <	11,0	B	< 12 <sup>m</sup> 0	եփ	
	20 1949	после 1950	40 1949	после 1950	B <11 <sup>m</sup> 0	$  B < 12^m0$
Sel	7	13	7	19	45	39
Sell	4	0	4	5	_	52
SellI	0	1	1	5	29	35
SelV	0	0	1	1		58
Sc(I—IV)	11	14	13	30	52	41
Se (I, 111, IV)	7	14	9	25	43	39

Конечно, некоторые из цифр двух последних колонок этой таблицы весьма условны.

5. Определение частоты вспышек сверхновых в галактиках Sc I. Как указывалось выше, для определения средней частоты вспышек CH в ярких галактиках Scl (B < 11<sup>m</sup>0) необходимо найти такое значение постоянной а закона Пуассона, при котором математические ожидания k CH в одной галактике наилучшим образом представляли бы наблюденные числа галактик c k CH. Наилучшее согласование получается при a = 1.15. Для наглядности в табл. 5 приведены также результаты подсчетов для a = 0.55 и a = 2.25.

Tahuwa S

	$\operatorname{Scl}(B < 11^m_{\cdot}0)$							
<sup>п</sup> к (теор.)	0.55	a 1.15	2.25	<i>п</i> к (набл.)				
<i>n</i> <sub>0</sub>	7.0	3.8	1.3	4				
<i>n</i> <sub>1</sub>	3.8	4.3	2.8	2				
n2	1.1	2.5	3.1	3				
<i>n</i> <sub>3</sub>	0.2	1.0	2.4	1				
n4 +	0	0	1.3	1				
n <sub>5</sub>	0	0	0.7	1				

568

Следует отметить, что вероятности нахождения галактик с 4 и 5 вспышками СН для значений a = 1.15 очень малы — 0.001 и 0.0001. Поэтому математические ожидания получаются равными нулю. По-видимому, существование двух галактик с 4 и 5 вспышками СН следует считать неслучайным явлением.

Среднюю частоту вспышек СН в галактиках Sc I следовало бы вычислить по данным самой яркой группы галактик Scl ( $B \le 10^{m}2$ ), т. к. только для нее уверенно можно принять, что вероятность обнаружения вспыхнувшей СН равна 1. Тот факт, что число СН в этой группе за последние 29 лет не увеличилось, а, наоборот, уменьшилось, говорит о том, что и эффективное время наблюдений определяется в ней более достоверно, чем в других группах, в которых значительное число утерянных СН может уменьшить эффективное время наблюдений. Однако из-за малого (всего 4) числа галактик средняя частота вспышек СН, вычисленная по данным этой группы, определяется с большой ошибкой. Более надежные результаты, вероятно, можно получить по суммарным данным первых двух групп. В этой составной группе уже имеется 12 галактик Scl ( $B \le 11^m$  0).

Подставив в (2) значения a = 1.15, p = 1 и  $\tau_{app} = 45$ , находим частоту

$$v = \frac{1.15}{45} = 0.026 \text{ Aet}^{-1}$$

и соответственно период между двумя последовательными вспышками СН в одной галактике:

$$T = \frac{1}{\gamma} = 39$$
 лет.

Следует отметить, что если вероятность обнаружения вспыхнувшей СН меньше единицы, то это приведет к увеличению частоты ». Принимая p = 1, мы определяем нижний предел частоты вспышек.

Частота вспышек СН во всех галактиках типа Sc I, естественно, одинакова для галактик любого видимого блеска. Поэтому можно найти вероятность обнаружения СН в галактиках умеренного блеска  $11^m 1 \leqslant B \leqslant$  $\leqslant 12^m 0$ , для которых наилучшее соответствие наблюденных и вычисленных значений чисел галактик с k СН осуществляется при a = 0.30. Подставляя в (2) значения a = 0.30,  $\tau_{\rm sph} = 2^{\rm Q}$  и  $\nu = 0.026$ , находим p = 0.40.

Вероятность обнаружения СН в галактиках умеренного видимого блеска вдвое меньше вероятности обнаружения СН в ярких галактиках.

### Ρ. Γ. ΜΗΑЦΑΚΑΗЯΗ

Для галактик Sc I без подразделения на интервалы по видимому блеску наилучшее соответствие осуществляется при a = 0.55. Подставляя в (2) найденные значения a = 0.55, v = 0.0026 и  $\tau = 39$ , находим вероятность обнаружения CH в любой галактике ScI ярче 12<sup>m</sup>0, равной p = 0.54.

6. Определение средней частоты вспышек сверхновых в галактиках Sc II, Sc III и Sc (I—IV). Как было показано выше, вероятность обнаружения CH сильно зависит от видимого блеска галактики-родительницы. Однако для галактик других подклассов светимости подразделение на группы по видимому блеску из-за их малочисленности невозможно. Поэтому подсчеты средней частоты вспышек CH для галактик Sc II и Sc III будут сделаны при допущении, что CH в них обнаруживаются с такой же вероятностью, p = 0.54, что и в галактиках Sc I без подразделения на группы по видимому блеску.

Применяя вышеизложенную методику подсчетов, находим средние частоты вспышек СН в галактиках любого подкласса светимости, сведения о которых приведены в табл. 6. Из табл. 6 видно, что средние частоты вспышек СН в галактиках ScI и ScIII почти равны, тогда как средняя частота вспышек СН в ScII более чем в два раза меньше средней частоты вспышек СН как в ScI, так и в ScIII. Возможно, это результат того, что в подклассе ScII наблюдается дефицит СН (см. табл. 2).

Tabuun 6

Тип	Ng	зфф (в годах)	р	a	- v	Т (лет)
ScI	31	39	0.54	0.55	0.026	39
Se II	28	52	0.54	0.30	0.011	91
Se III	12	35	0.54	0.55	0.029	34
Se IV	1	58	0.54		-	_
Sc(I-IV)	72	40	0.54	0.45	0.021	48
Se I, Se III, Se IV	44	39	0.54	0.55	0.026	38

Для галактик подкласса Sc IV, где имеется только одна галактика, имеющая 2 вспышки, определение эффективного времени наблюдений весьма условно, а применение закона Пуассона в этом случае невозможно.

Незначительные различия средней частоты вспышек СН в галактиках Sc I и Sc III позволяют объединить их в одну группу, добавив к ним еще одну галактику Sc IV. В этой новой группе содержится 44 галактики. Сведения о ней приведены в последней строке табл. 6.

## О ЧАСТОТЕ ВСПЫШЕК СВЕРХНОВЫХ

Наблюдаемое распределение чисел галактик с k CH можно попытаться представить как результат существования двух групп галактик, Sc (I, III. IV) и Sc II, в которых СН вспыхивают с частотами ч, и ч :

					Таблица 7
		n <sub>k</sub> (выч.)			
	Sc (I, III, IV) ( $v_1 = 0.026$ )	$ \begin{array}{c} \text{Sc II} \\ (\nu_2 = 0.011) \end{array} $	Bce	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	л <sub>к</sub> (набл.)
nu	25.5	20.7	46	46	46
<i>n</i> <sub>1</sub>	14.1	6.2	20	21	16
<b>n</b> <sub>2</sub>	4.0	0.8	5	4	6
<i>n</i> <sub>3</sub>	0.9	0.1 1	1	1	2
n.4	0.1	0.0	0	0	1
ħ5	0.0	0.0	0	0	1

$$n_{k} = N_{1} \frac{e^{-a_{1}}(a_{1})^{k}}{k!} + N_{2} \frac{e^{-a_{1}}(a_{2})^{k}}{k!}$$
(3)

В табл. 7 приведены результаты подсчетов для двух случаев: 1) сушествуют две группы галактик, в которых СН вспыхивают с различными частотами, у и у2, численные значения которых даны в табл. 6 и 2) в галактиках Sc любой светимости CH вспыхивают с одинаковой средней частотой.

Данные табл. 7 показывают, что в обоих случаях полученные числа галактик с k CH довольно хорошо согласуются с наблюденными числами Для первого допущения согласование немного лучше, чем для второго, но не настолько, чтобы можно было бы отдать предпочтение ему, а не второму допущению.

7. Заключение. Из вышеизложенного следует, что средняя вероятность обнаружения СН, вспыхнувшей в какой-либо галактике умеренного видимого блеска (10<sup>m</sup>3 < B < 11<sup>m</sup>0), примерно вдвое меньше средней вероятности обнаружения СН в одной из ярких галактик ScI ( B < 10"2).

Результаты настоящей работы не указывают на наличие четкой зависимости частоты вспышек СН от светимости галактик. Не исключено, что наблюлаемая низкая (вдвое) частота вспышек СН в галактиках Sc II есть результат случайного отклонения полученных данных от пуассоновского распределения.

Однако следует признать, что у галактик Sc существует значительная дисперсия в способности производить СН.

По-видимому, можно дспустить, что одни галактики обладают повышенной производительностью, а у других она низка, или они уже прошли ту стадню эволюции галактик, в которой наблюдается повышенная частота вспышек СН. Именно об этом говорит тот наблюдательный факт, что из 4-х ярких галактик Scl ( $B \ll 10^m 2$ ) только две имеют вспышки СН, за весь период наблюдений, хотя вероятность пропустить СН в этих галактиках относительно мала.

Полученные нами средние частоты вспышек СН в галактиках типа Sc — это только нижний предел реальной частоты вспышек, т. к. при вычислениях эффективного времени наблюдений мы не учитывали, что для большей части неба наблюдения ведутся только одну половину года. Как нижние пределы они довольно реальны. Применяемые нами эффективные времена наблюдений немного завышены.

Полученные предложенным методом средние частоты вспышек СН в галактиках типа Sc не противоречат результатам других авторов [2—9].

Выражаю глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за ценные дискуссии и советы.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

# ON THE FREQUENCY OF SUPERNOVAE IN Sc GALAXIES

### R. G. MNATSAKANIAN

The mean frequency of SN in Sc galaxies is calculated by the method used for determination of the flare frequency of flare stars in stellar aggregates [10-11]. For a galaxy of Sc type, brighter than  $12^m$ 0, the mean time between two successive bursts of supernovae is equal to 48 years. For the considerated sample of galaxies we did not succeed to reveal a clear dependence of the frequency of SN on the luminosity of parent galaxy.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. F. Zwicky, Ap. J., 96, 28, 1942.
- 2. Ю. П. Псковский, Астрон. ж., 38, 656, 1961.
- 3. P. Katgert, J. H. Oort, Bull. Astr. Inst. Netherland, 19, 239, 1967.
- 4. R. Barbon, A. J., 73, 1016, 1968.
- 5. L. Rosino, G. D. Tullio, Supernovae and Supernova Remnants, Dordrecht-Holland-Boston-USA, 1974, p. 19.
- G. A. Tammann, Supernovae and Supernova Remnants, Dordrecht-Holland-Boston-USA, 1974, p. 155.
- 7. G. A. Tammann, Supernova, Dordrecht-Holland, 1977, p. 95.
- 8. Р. Г. Мнацаканян, А. В. Осканян, М. Ловаш, Астрофизика, 15, 413, 1979.

- 9. Р. Г. Мнацаканян, А. В. Осканян, М. Ловаш, Сообщ. Бюраканской обс., 42, 68, 1980.
- 10. В. А. Амбарцумян, в сб. «Звезды, туманности, галактики», Ереван, 1969, стр. 283.
- В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, О. С. Чавушян, Л. К. Ерастова, Вспыхивающие звезды в Плеядах, препринт № 1, 1969.
- 12. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, RCBG, Texas, 1964.
- 13. P. Flim, M. Karpowicz, W. Murawski, K. Rudnicki, Acta Cosmologica. z, 8, Warszawa-Krakow, 1979.
- 14. J. Maza, S. van den Bergh, Ap. J., 204, 519, 1976.
- 15. G. T. Koval, W. L. W. Sargent, J. Huchra, P. A. S. P., 87, 401, 1975.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

ВЫПУСК 4

УДК 524.352.3

# АНОМАЛЬНЫЕ ПОКРАСНЕНИЯ СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗД

М. М. ИЫЭВЭЭР Поступила 2 февраля 1982 Принята к печати 27 июля 1982

Изучается корреляция между избытками цвета  $E_{H-V}$  и искаженными поглощением абсолютными величинами сверхновых в комплексе вокруг скопления галактик в Деве (400 < V < 3000 км с<sup>-1</sup>). Показано, что сверхновые 1 типа с разными покраснениями имеют равные  $\overline{M}_{p}^{0}$  лишь при учете поглощения (ослабления) света по аномальному соотношению  $A_{pg}$  1.8  $E_{B-V}$ . После учета поглощения по этому соотно шению умеренно покрасневшие ( $E_{B-V} < 0.5$ ) сверхновые 1 типа в спиральных галактиках являются почти такими же хорошими стандартными источниками, как сверхновые I типа в эллиптических галактиках ( $\tau_{M} = 0.5$  и 0.4, соответственно).

1. Введение. Сверхновые звезды являются самыми яркими индивидуальными объектами в галактиках. В галактиках с красным смещением z = 0.15 сверхновые I типа во время максимума блеска имеют видимые величины  $B \approx 20$ , и они доступны изучению с помощью наземных телескопов. С помощью 2.4-м космического телескспа станут доступны сверхновые I типа до  $z \approx 0.5$  [1]. Поэтому сверхновые I типа считаются наиболее подходящими стандартными источниками для изучения особенностей космологического расширения до больших расстояний.

Однако число сверхновых I типа с уверенно определенными кривыми блеска пока невелико. К тому же большинство из них вспыхивает в спиральных галактиках, где их абсолютные светимости, вероятно, из-за поглощения света внутри материнских галактик, имеют значительный разброс [2, 3], что затрудняет их использование при оценке расстояний.

Абсолютные величины сверхновых l типа с учетом поглощения по стандартному соотношению  $A_{pg} = 4 E_{B-V}$  выводились Псковским [4]. После учета поглощения средние светимости сверхновых в эллиптических и линзовидных системах, с одной стороны, и в спиральных системах, с другой, получились примерно равными ( $\overline{M}_{pg}^0 = -20.0 \pm 0.1$  и  $-20.3 \pm \pm 0.2$ , соответственно), что свидетельствовало в пользу правильного учета поглощения [4]. Но все же остаются некоторые сомнения. Во-первых, и после учета поглощения разброс значений  $M_{ps}^{0}$  у сверхновых в спиральных галактиках вдвое больше соответствующего разброса для эллиптических галактик Во-вторых, светимости  $M_{ps}^{0}$ , полученные Псковским, коррелированы с избытками цвета  $E_{B-V}$ . Так, у 22 сверхновых с  $E_{B-V} \leq 0.25$  ( $\overline{E}_{B-V} =$ = 0.07)  $\overline{M}_{ps}^{0} = -20.0 \pm 0.12$ , у 10 сверхновых с  $E_{B-V} > 0.25$  ( $\overline{E}_{B-V} =$ = 0.46)  $\overline{M}_{ps}^{0} = -20.58 \pm 0.16$  (на основе данных табл. 5 из работы [4]).

Поэтому ниже влияние поглощения на светимости сверхновых I типа исследуется заново.

2. Исходные данные. Данные о видимых звездных величинах сверхновых 1 типа в максимуме блеска были взяты согласно исследованиям [4-8]. Ряды наблюдений Псковским и группой Азиаго обрабатывались по различавшимся схемам и частично разным наблюдениям. Псковский перевел звездные величины в системе В в фотографическую систему pg по соотношениям согласно Арпу [9]. Согласно [5], использование редукции по Арпу лишь увеличивает рассеяние в сводных кривых блеска, и данные в системах pg и В ими объединялись без каких-либо редукций.

Сравнение данных о максимумах блеска Псковского и группы Азиаго (после редукции данных Азиаго в системе *B* в систему *pg*) указывает на в общем удовлетворительное взаимное согласие. Для 27 из 37 общих звезд максимумы хорошо согласуются ( $-0.3 \leq \Delta m = m_{pg}$  (Псковский) —  $m_{pg}$  (Азиаго)  $\leq 0.3$ ,  $\Delta m = 0.05 \pm 0.04$ ). У 10 сверхновых с малым числом наблюдений вблизи максимума различия значительные ( $0.50 \leq |\Delta m| \leq 1.40$ ). Ниже в качестве окончательных  $m_{pg}$  в большинстве случаев используется среднее значение от значений максимумов блеска согласно [4] и [5—7], в отдельных случаях —  $m_{pg}$ , оцененные либо Псковским, либо группой Азиаго. Данные о сверхновых с недостаточно точными значениями (в частности с  $|\Delta m| > 0.75$ ) максимума блеска не используются.

Оценки избытков цвета  $E_{B-V}$  сверхновых взяты согласно работам [4, 6—8 и 10].

Лучевые скорости,  $V_{0}$ , материнских галактик, которые используются для определения абсолютных светимостей сверхновых, брались согласно сводке Рууда [11].

3. Зависимость поглощения  $A_{Pg}$  от  $E_{B-V}$ . Искаженные поглощением абсолютные светимости  $M_{PS}$  сверхновых в максимуме блеска вычислялись посредством соотношения  $M_{Pg} = m_{Pg} - 5 \lg V_0/H - 25$ . При решении поставленной дифференциальной задачи изучения зависимости  $A_{Pg}$  от  $E_{B-V}$  конкретное значение постоянной расширения H не играет роли; в целях проведения непосредственного сравнения  $M_{Pg}$  с результатами. Псковского принято H = 55 км с<sup>-1</sup> Мпс<sup>-1</sup>.

Поскольку постоянная расширения в комплексе вокруг скопления Девы (в Местном сверхскоплении галактик), вероятно, отличается от глобального значения постоянной H (см. [12—14]), то мы ограничиваемся областью пространства с  $V_0 < 3000$  км с<sup>-1</sup>. Чтобы снизить влияние пекулярных скоростей в качестве нижнего предела по расстоянию принято  $V_0 = 400$  км с<sup>-1</sup>; сверхновым в галактиках скопления Девы приписана средняя лучевая скорость скопления + 1019 км с<sup>-1</sup> [15].



Рис. 1. Зависимость искаженной поглощением абсолютной звездной величины  $M_{Pg}$  сверхновых 1 типа от избытка цвета  $E_{B-V}$  (400 <  $V_0$  < 3000 км с, H = 55 км с<sup>-1</sup> Мпс<sup>-1</sup>). Непрерывная линия —  $M_{Pg}$  — 1.8  $E_{B-V}$  = const; прерывистая линия —  $M_{Pg}$  — 1.8  $E_{B-V}$  = const; прерывистая линия —  $M_{Pg}$  — 4  $E_{B-V}$  = const.

На рис. 1 представлена диаграмма  $M_{Pg} - E_{B-V}$  для сверхновых 1 типа в рассматриваемой области пространства. Видно, что увеличению  $E_{B-V}$  соответствует уменьшение абсолютной светимости сверхновых, что указывает на поглощение как причину покраснения. Однако уменьшение светимости (увеличение поглощения  $A_{Pg}$ ) с увеличением  $E_{B-V}$  происходит значительно медленнее по сравнению со стандартным соотношением  $A_{Pg} = 4 E_{B-V}$  (прерывистая линия). Исходя из требования равенства средних исправленных за счет поглощения абсолютных величин  $M_{Pg}^0 = M_{Pg} - A_{Pg}$  при разных покраснениях, получаем, что для рассматриваемой выборки сверхновых 1 типа действительно соотношение

$$A_{PE} = 1.8 E_{B-V}$$

### АНОМАЛЬНЫЕ ПОКРАСНЕНИЯ СВЕРХНОВЫХ

(непрерывная линия). На слабую по сравнению со стандартным соотношением зависимость  $A_{pg}$  от  $E_{B-V}$  указывают и данные о цветах и светимостях сверхновых I типа. В частности, для выборки  $V_0 >$ > 3000 км с<sup>-1</sup> подходит  $A_{pg} \approx 1.5 E_{B-V}$  (13 звезд, из них две значительно покрасневшие с  $E_{B-V} \approx 0.6$ ).

Таблица 1

## СРЕДНИЕ Д И ДИСПЕРСИИ СВЕТИМОСТЕЙ СВЕРХНОВЫХ І ТИПА С ЛУЧЕВЫМИ СКОРОСТЯМИ 400 < V < 3000 КМ/С ПРИ РАЗНЫХ КОРРЕКЦИЯХ ЗА ПОКРАСНЕНИЕ

Pro	A0  X-  X	$M_{pg}^{0} = M_{pg} - T$	$1.8E_{B-V}$	$M_{pg}^0 = M_{pg} - 4E_{B-V}$	
Выборка	Чис. свер новь	M <sup>0</sup> <sub>pg</sub>	<sup>𝔅</sup> 𝑘	$\overline{M}^{0}_{pg}$	°M
SN B E, SO FAX.	6	$-19.45 \pm 0.18$	0.43	$-19.45 \pm 0.18$	0.43
SN B S, Ir rax.	13	-19.55±0.14	0.50	-20.10±0.16	0.59
$\begin{array}{l} E_{B-V} < 0.5 \\ E_{B-V} > 0.5 \end{array}$	4	$-19.41\pm0.42$	0.84	$-21.39 \pm 0.30$	0.59

В табл. 1. представлены значения  $\overline{M}_{pg}^{0}$  и дисперсии значений  $M_{pg}^{0}$ при разных коррекциях за поглощение (ослабление). Отметим, что на пригодность соотношения  $A_{pg} = 1.8 E_{B-V}$  указывает как равенство средних  $M_{p}^{0}$  для сверхновых в эллиптических и спиральных галактиках, так и примерное равенство для сверхновых в эллиптических и умеренно покрасневших сверхновых ( $E_{B-V} < 0.5$ ) в спиральных галактиках. Заметно меньшее значение  $\overline{M_{pg}^{0}}$  для сверхновых в эллиптических галактиках по сравнению с соответствующей величиной в исследовании Псковского [4] обусловлено исключением далеких сверхновых и меньшим расстоянием до скопления Девы (18.5 против 21 Мпс) в нашем случае.

Полученное отношение общего и селективного поглощения  $R = A_{V}/E_{B-V} = 0.8$  резко отличается от общепринятых значений в Галактике. Согласно Лууду [16], значения R, определенные на основе разного рода покрасневших из-за поглощения в Галактике объектов, группируются вокруг значения  $R = 3.14 \pm 0.11$ . Только для некоторых планетарных туманностей получены значения  $R \approx 1$ , но это, вероятно, отражает лишь неточности, в использованном методе определения R.

4. Заключение. Представленные статистические данные не указывают на причину обнаруженного явления. Полученный результат R = 0.8 может отражать неопределенности в использованных цветовых системах фотографической фотометрии (возможно, на это указывает и отмеченное в [5] своеобразие соотношения между системами pg и B) и объясняться

577

своеобразнем распределения энергии в спектрах сверхновых звезд. Нельзя исключить и вероятность того, что закон поглощения в окрестностях сверхновых или в других галактиках вообще в некоторой степени может быть иным, чем в Галактике. Так, для Большого Магелланового облака Иссерстедт [17] получил  $R \approx 2.0$ .

Так или иначе, с практической точки зрения, при использовании данных о сверхновых в спиральных галактиках для изучения зависимости расстояние — красное смещение или в подобных им задачах абсолютные звездные величины  $M_{pg}$  следует редуцировать за счет покраснения по соотношению  $M_{pg}^{0} = M_{pg} - 1.8 E_{B-V}$ . Поступая таким образом умеренно покрасневшие ( $E_{B-V} < 0.5$ ) сверхновые 1 типа в спиральных галактиках становятся почти такими же хорошими стандартными источниками, как сверхновые в эллиптических галактиках, тем самым примерно удваивая численность стандартных источников. Для повышения веса наблюдательных данных и выявления сущности аномального покраснения (поглощения) сверхновых следует определить кривые цвета с той же тщательностью, что и кривые блеска.

Автор признателен И. Б. Пустыльнику за полезное обсуждение.

Институт астрофизики и физики атмосферы АН Эст.ССР

# ANOMALOUS REDDENINGS OF TYPE I SUPERNOVAE

#### M. JÖEVEER

It is demonstrated that supernovae of type I with different colour excesses  $E_{B-V}$  have equal mean absolute luminosities  $M_{pg}^{0}$  only after taking into consideration the absorption (weakening) of light according to formula  $M_{pg}^{0} = M_{pg} - 1.8 E_{B-V}$ . Then the supernovae with moderate reddenings ( $E_{B-V} < 0.5$ ) in spiral galaxies are almost as good standard candles as the supernovae in elliptical galaxies ( $a_{M} = 0.5$  and 0,4, respectively).

### **ЛИТЕРАТУРА**

- G. A. Tummann, in "Scientific Research with the Space Telescope", IAU Coll. No. 54, 1979, p. 263.
- 2. D. Branch, C. Bettis, A. J., 83, 224, 1978.
- 3. G. A. Tammann, Mem. Soc. Astron. Italiana, 49, 315, 1978.
- 4. Ю. П. Псковский, Астрон. ж., 54, 1188, 1977.
- 5. R. Barbon, F. Ciatti, L. Rosino, Astron. Astrophys., 25, 241, 1973,
- 6. F. Clatti, L. Rosino, Astron. Astrophys., 57, 73, 1977.

578

### АНОМАЛЬНЫЕ ПОКРАСНЕНИЯ СВЕРХНОВЫХ

- 7. F. Ciatti, L. Rosino, Astron. Astrophys. Suppl. ser., 33, 387, 1978.
- 8. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, S. Odewahn, P. A. S. P., 93, 181, 1981.
- 9. H. Arp, Ap. J., 133, 883, 1961.
- 10. F. Bertola, A. Mammano, M. Perinotto, Asiago Contr. No. 174, 1965.
- 11. H. Rood, Preprint, 1980.
- 12. G. de Vaucouleurs, G. Bollinger, Ap. J., 233, 433, 1979.
- M. Aaronson, J. Huchra, J. Mould, W. T. Sullivan III, R. A. Schommer, G. D. Bothun, Ap. J., 239, 12, 1980.
- 14. J. N. Tonry, M. Davis, Ap. J., 246, 680, 1981.
- 15. J. Mould, M. Aaronson, J. Huchra, Ap. J., 238, 458, 1980.
- 16. Л. Лууд. Публ. Тартуской обс., 47, 55, 1978.
- 17. J. Isserstedt, Astron. Astrophys., 83, 317, 1980.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.7—77

# ФУНКЦИЯ РАДИОСВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Р. А. КАНДАЛЯН Поступила 14 декабря 1981 Принята к печати 27 июля 1982

На основе полной выборки сейфертовских галактик ярче  $14^m2$  построена их функция радиосветимости (F(>P)). Определены зависимости средней радиосветимости ( $P_{1,4}$ ) и функции радиосветимости от оптической светимости ( $L_p$ ) галактик, которые оказались вида  $\overline{P}_{1,4} \sim L_p^{1.2\pm0.3}$  и  $F(>P) \sim L_p^{1.3\pm0.5}$ . Предполагается, что вероятность галактики Syl быть радиоисточником со светимостью lg  $P_{1,4} = 23.0$  больше, чем у Sy 2.

1. Введение. В настоящее время немало сейфертовских (Sy) галактик исследованы в широком диапазоне радиочастот, что позволяет попытаться построить их функцию радиосветимости (ФРС) на основе полной выборки галактик. Ранее это не представлялось возможным, так как выборка Sy галактик не была достаточно полной как в оптическом, так и в радиодиапазонах.

В настоящей работе строится ФРС сейфертовских галактик ярче 14<sup>™</sup>2 звездной величины. С этой целью образована выборка из 52 галактик, которая практически полностью (кроме одной галактики) наблюдалась в радиодиапазоне.

2. Выборка сейфертовских галактик ярче 14<sup>m</sup>2. При составлении выборки сейфертовских галактик мы рассматривали область неба, которая исследована в первых 14 списках обзора Маркаряна и сотрудников [1—3]. Эта область в первом приближении определяется условиями (1) и (2) работы [4], тем самым исключается вопрос о влиянии неодинаковой степени изученности областей неба. Следует отметить, что именно в работе [4] более детально исследована оптическая функция светимости и вопросы полноты сейфертовских галактик.

Список 52-х сейфертовских галактик, удовлетворяющих указанным выше условиям, представлен в табл. 1, где последовательно даны: наиме-

## ФУНКЦИЯ РАДИОСВЕТИМОСТИ СЕПФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК 581

нование галактики; красное смещение; фотографическая видимая величина, исправленная за галактическое поглощение ( $a_p = 0.24 \operatorname{cosec} |b^{11}|$ ); абсолютная фотографическая величина; логарифм радносветимости на частоте 1.4 ГГц в единицах  $B_T/\Gamma_{\rm H}$ , соответствующие  $H_{\rm a} = 75$  км/с  $\cdot$  Мпс: классификация Sy галактик. Данные о красных смещениях и типах Sy галактик взяты из работ [5-10], а результаты радионаблюдений брались из [11-16]. Во всех случаях, когда имеются измерения видимых величии у Цвикки и сотрудников [17-20], в таблице приведены эти значения. В остальных случаях даны значения видимых величин (отмечены скобками) согласно [1-3]. Скобками отмечены также значения логарифмов радиосветимостей тех галактик, потоки которых пересчитаны на частоту 1.4 ГГц с других частот со средним спектральным индексом  $\alpha = 0.75 (S_{v} \sim v^{-\alpha})$ . Из приведенных в табл. 1 галактик 35 относятся к классу Sy 1, а 17 — Sy 2. Среди 52 галактик 24 являются радиоисточниками, для 27 оценены верхние границы плотностей потоков, одна галактика в радиодиапазоне пока не наблюдалась (август 1981 г.).

Таблица 1

DDDOFKA CLIQLFTODOKHA TAMAKTIK						
Галактика	=	m <sub>p</sub>	$M_p$	lg P <sub>1.4</sub> (Вт/Гц)	Класс	
1	2	3	4	5	6	
Mkn 335	0.025	(13‴6)	-21 <sup>m</sup> 4	< 22.0	1	
Mkn 938	0.019	(13.8)	-20.7	<(21.8)	2	
IZw 1	0.061	14.0	-23.2	22.9	1	
Mkn 993	0.017	13.5	-20.6	<(22.6)	2?	
Mkn 1157	0.015	13.5	-20.5	(22.9)	2	
Mkn 573	0.016	13.7	-20.3	< (22.6)	2	
Mkn 590	0.027	13.7	-21.4	<(23.0)	1	
Akn 79	0.020	12.9	-21.6	22.0	2	
Mkn 1040	0.017	13.4	-20.8	<(22.6)	1	
Mkn 1044	0.016	(14.2)	-19.9	<(23.0)	1	
Mkn 1048	0.043	13.7	-22.5	<(23.8)	1	
NGC 1068	0.0038	9.4	-21.5	23.2	2	
Mkn 609	0.034	(14.2)	-21.3	<(23.2)	1	
3C 120	0.033	13.7	-21.9	25.1	1	
Mkn 618	0.035	(14.1)	-21.6	<(23.3)	1	
Akn 120	0.033	13.9	-21.6	(23.7)	1	
Mkn 3	0.014	13.2	-20.4	23.6	2	
VII Zw 118	0.079	14.0	-23.5		1	
Mkn 79	0.022	12.8	-22.0	22.2	1	

ВЫБОРКА СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

## Р. А. КАНДАЛЯН

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6
Mkn 10	0.029	13 5	$-21^{m}8$	< 21.8	1
Mkn 622	0.023	14.0	-20.9	22.0	2
Mkn 391	0.013	13.5	-20.1	< 21.2	1
Mkn 705	0.028	13.5	-21.7	< 21.5	1
Mkn 1243	0.036	14.2	-21.7	(23.3)	1
NGC 3227	0.0033	11.9	-18.7	21.3	2
NGC 3516	0.0093	11.9	-20.9	22.8	1
Mkn 744	0.010	13.3	-19.7	<(22.2)	1
NGC 4051	0.0024	11.2	-18.7	20.8	1
NGC 4151	0.0033	11.0	-19.6	22.0	1
NGC 4235	0.0077	12.9	-19.5	< (22.0)	1
Mkn 766	0.013	13.5	-20.1	22.1	1
Mkn 231	0.041	13.8	-22.3	23.8	1
Mkn 270	0.0090	14.0	-18.9	21.3	2
Mkn 279	0.032	14.2	21.4	22.6	1
NGC 5548	0.017	12.9	-21.3	22.7	1
Mkn 673	0.036	14.0	-21.9	<(23.3)	2
Mkn 471	0.034	14.2	-21.4	22.1	1
Mkn 817	0.632	14.0	-21.6	22.3	1
Mkn 686	0.014	13.6	-20.1	<(22.5)	2
Mkn 841	0.036	(13.7)	-22.1	< 22.2	1
Mkn 509	0.035	(12.5)	-23.2	· <(23.3)	1
11 Zw 136	0.062	13.8	-23.1	< (23.8)	1
Mkn 304	0.065	14.2	-22.9	< 22.5	1
Mkn 917	0.025	13.9	-21.1	(23.4)	2
Akn 564	0.025	13.8	-21.1	22.5	1
Mkn 309	0.043	14.2	-21.9	<(23.4)	2
Mkn 1126	0.010	(14.2)	-18.8	<(22.6)	2
Mkn 1127	0.025	13.9	-21.1	<(23.0)	2
NGC 7469	0.017	12.7	-21.5	23.5	1
Mkn 926	0.048	(14.2)	-22.2	<(23.5)	1
Mkn 530	0.029	14.1	-21.2	<(23.1)	1
Mkn 533	0.029	13.3	-22.0	23.6	2

Перейдем к рассмотрению вопроса полноты выборки сейфертовских галактик с  $m_{\rho} = 14^m 2$ . С этой целью в табл. 2 приведено распределение числа Sy галактик по видимым величинам, где  $N_{\mu}$ ,  $N_{\mu}$  — соответственно наблюдаемое и ожидаемое число галактик.

РАСПРЕДЕЛ ГАЛАКТИ	ЕНИЕ ЧИСЛА СЕЙ К ПО ВИДИМЫМ	ифертовских величинам
m <sub>p</sub>	N <sub>at</sub>	N <sub>o</sub>
12 <sup>m</sup> 0	5	23
12.5	6	5.
13.0	11	10
13.5	21	20
14.0	41	40
14.2	52	52
14.3	53	60

Нетрудно убедиться, что если принимать  $N_{\rm H}(12^n) = 5$ , то по формуле (П8) работы [4] фактор полноты Sy галактик с  $m_p < 14^m 2$  получается ~ 1. Выборка Sy галактик до  $14^m 2$  является практически полной и хорошо удовлетворяет закону  $\log N \sim 0.6 m_p$ , если число объектов ярче  $12^m 0$  уменьшить до 2—3 галактик, принимая, что остальные 2—3 галактики могут быть флуктуациями. Следует отметить, что небольшие флуктуации числа объектов ярче  $12^m 0$  приводят к значительным изменениям ожидаемого числа галактик с  $m_p > 12^m 0$ . Как видно из табл. 2, выборка является неполной (фактор полноты менее  $90^{0}/_{0}$ ), начиная с объектов  $m_p > 14^m 3$ .

3. Функция радиосветимости. Существуют несколько методов построения функции светимости галактик. Из них более распространенным является метод максимальных объемов (метод Шмидта) [21]. Однако этот метод не использует информацию о верхних границах плотностей потоков. Кроме метода Шмидта в последнее время были предложены другие методы построения ФРС, в которых наряду с измеренными значениями плотностей потоков используются также значения верхних пределов. В настоящей работе мы будем пользоваться методом построения ФРС, предложенным в [22]. Ниже приведем формулу, по которой можно посчитать относительную долю объектов в определенном интервале радиосветимостей. Более подробно с этим методом можно познакомиться в вышеуказанной работе.

Относительную долю галактик в определенном интервале радиосветимостей можно посчитать по следующей рекуррентной формуле:



где  $D_k$  число объектов с измеренным радиоизлучением в k-ом интерва ле радносветимостей;  $U_i$  число объектов, для которых оценены значения верхних пределов плотностей потоков в *i*-ом интервале светимостей: N полное число объектов. В табл. 3 приведена интегральная форма функции радиосветимости сейфертовских галактик для двух интервалов абсолютных величин и  $\triangle \lg P_{1.4} = 0.4$ . Выбор подобного разделения по  $M_p$  обусловлен тем, чтобы каждый интервал содержал примерно одинаковое число галактик. В скобках указано число (*n*) объектов с измеренным радиоизлучением для данного интервала светимостей. Ошибка определения ФРС пропорциональна  $n^{-1/2}$ .

Таблица З

$M_{p} < -21.4$	$M_{p} > -21.4$	lg $P_{1,4}$ (Βτ/Γg)					
$0.04 \pm 0.04$ (1)		25.2					
		24.8					
		24.4					
$0.16 \pm 0.08$ (3)	0.04±0.04 (1)	24.0					
$0.22 \pm 0.10$	$0.08 \pm 0.06$ (1)	23.6					
$0.35\pm0.13$ (2)	0.18+0.09	23.2					
$0.42 \pm 0.15$	$0.31 \pm 0.13$	. 22.8					
$0.75\pm0.22$ (4)	$0.54 \pm 0.19$ (3)	22.4					
<1.0 (0)	<1.0 (0)	22.0					
<1.0 (0)	0.77±0.25 (2)	21.6					
	$1.00\pm0.34$	21.2					
		20.8					

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ РАДИОСВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Зависимость логарифма интегральной функции радиосветимости  $(F(\ge P))$  галактик для  $M_p \le -21.4$  и  $M_p \ge -21.4$  от  $\lg P_{1.4}$  приве-

дена на рис. 1. На рис. 2 представлена подобная зависимость для сейфертовских галактик 1-го типа. Вероятность того, что для значений  $\lg P_{1.4} \gg 23.0$  точки ФРС оптически ярких ( $M_p \leqslant -21.5$ ) и слабых ( $M_p > -21.5$ ) галактик попадут в область перекрытия ошибок, меньше 0.05.



Рис. 1. Интегральная функция радносветимости Sy галактик.



Рис. 2. Интегральная функция радносветимости Sy 1 галактик.

Поэтому для того, чтобы не усложнять рисунки, на них не приведены ошибки определения ФРС. В данной выборке число Sy 2 галактик невелико, и для них ошибки определения ФРС могут быть большими. По этой причине мы не приводим ФРС для этих объектов.

## Р. А. КАНДАЛЯН

В используемом методе построения ФРС очень важно, чтобы пересчет плотностей потоков и верхних границ с других частот на частоту 1.4 ГГц не приводил к их недооценке. В противном случае объекты с ниакой радиосветимостью могут попасть в интервал высоких светимостей, что недопустимо в приведенном методе построения ФРС. В нашем случае пересчет плотностей потоков на частогу 1.4 ГГц осуществлялся с v>1.4 ГГц со средним значением спектрального индекса  $\alpha = 0.75$ , что является характерным значением  $\alpha$  для Sy галактик [23]. Переоценка же плотностей потоков и верхних границ не исказит вид ФРС, а только сделает более плоским наклон слабого конца (lg  $P_{1.4} < 23.0$ ) ФРС и более крутым наклон яркого (lg  $P_{1.4} > 23.0$ ) (рис. 1, 2).

4. Обсужление результатов. Как видно из рис. 1 и 2, на слабом конце функции светимости оптически слабые и яркие сейфертовские галактики примерно с одинаковой вероятностью являются радиоисточниками. На ярком конце ФРС вероятность сейфертовской галактики быть радиоисточником больше у оптически ярких галактик. Можно получить аналитическое представление этого заключения, а также связь между светимостями сейфертовских галактик в радио и оптическом диапазонах. С этой целью, используя дифференциальную форму ФРС, мы оценили средние значения радиосветимостей для разных интервалов абсолютных величин и определили связь между радиосветимостью  $\overline{P}_{1.4}$  и оптической светимостью  $L_p$ . Эта связь оказалась вида

$$\overline{P}_{1,4} \sim L_{\theta}^{1,2\pm 0,3}$$
 (2)

Далее, зная зависимость функции светимости F(>P) от  $M_P$ , при определенном значении P (см. табл. 3), для  $\lg_1 P_{1,4} > 23.0$  получаем

 $F(\gg P) \sim L_{s}^{1.3 \ge 0.5}$  (3)

Таким образом, соотношение (2) показывает, что в среднем оптически яркие сейфертовские галактики являются также относительно сильными радиоисточниками. Согласно (3), чем ярче сейфертовская галактика в оптическом диапазоне, тем с большей вероятностью она может быть радиоисточником с  $\lg P \ge 23.0$ . Соотношения (2), (3) выполняются также для Sy 1 галактик, правда, ошибки в степени  $L_p$  более велики. В работах [24— 27] были получены подобные соотношения для нормальных спиральных, вллиптических и радиогалактик. Разница заключается только в значениях светимостей этих галактик как в радио, так и в оптическом диапазонах. По значениям светимостей сейфертовские галактики занимают промежуточное положение между нормальными галактиками и радиогалактиками.

## ФУНКЦИЯ РАДИОСВЕТИМОСТИ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК 587

Обратимся к применению основных выводов (соотношения (2) и (3)) данной работы относительно сейфертовских галактик двух типов, предполагая, что соотношения (2). (3) справедливы также для Sy 2 галактих (что весьма вероятно, так как Sy галактики по многим своим свойствам занимают промежуточное положение между нормальными галактиками и радиогалактиками, для которых, как было отмечено, выполняются подобные соотношения. Кроме этого, эти соотношения имеют место как для Sy, так и для Sy 1 галактик). С этой целью мы вычислили средние значения абсолютных величин Sy галактик 1 и 2 типов, которые оказались равными —  $21.4 \pm 1.1$  и —  $20.6 \pm 1.1$  соответственно. С точки зрения распределения Стьюдента расхождение этих двух средних с надежностью 98% можно считать неслучайным. Следовательно, можно предположить, что вероятность галактики Sy 1 быть радноисточником co светимостью  $lg P_{1,4} \ge 23.0$  больше, чем у Sy 2.

В заключение следует отметить, что в данной выборке Sy галактик пространственный объем объектов высокой оптической светимости примерно в 10 раз превышает тот же объем для слабых объектов. Однако, с другой стороны, согласно [4], пространственная плотность галактик высокой светимости во столько же раз меньше, чем у слабых. Следовательно, использование разных пространственных объемов практически не внесет существенных искажений в распределение F(> P).

Автор признателен рецензенту за полезные замечания.

Бюраканская астрофизическая обсереатория

# THE RADIO LUMINOSITY FUNCTION OF SEYFERT TYPE GALAXIES

### R. A. KANDALIAN

The radio luminosity function (F(P)) for Seyfert (Sy) type galaxies brighter than 14<sup>m</sup>2 has been derived on the basis of the complete sample of galaxies. It is found that the average radio luminosity  $(\overline{P})$ and the luminosity function of Seyfert galaxies are correlated with the optical luminosity  $(\overline{P}_{1.4} \sim L_p^{1.2+0.3} \text{ and } F(P) \sim L_p^{1.3+0.5})$ . It is supposed that the probability of being a radio source for Sy 1 galaxy with the luminosity lg  $P_{1.4} > 23.0$  is higher than for Sy 2 galaxy.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Е. Маркарян, Астрофизика, 3, 55, 1967; 5, 443, 581, 1969.

2. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Астрофизика, 7, 511, 1971; 8, 155, 1972; 9, 487, 1873; 10, 307, 1974; 12, 389, 657, 1976.

- 3. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, Астрофизика, 13, 225, 397, 1977; 15, 201, 363, 549, 1979.
- 4. В. Ю. Теребиж, Астрофизика, 16, 45, 1980.
- 5. D. W. Weedman, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 15, 69, 1977.
- 6. D. W. Weedman, M. N., 184, 11, 1978.
- 7. В. Л. Афанасьев, Э. К. Денисюк, В. А. Липовеикий. Письма АЖ, 5, 271, 1979.
- 8. D. Kunth, W. L. W. Sargent, ESO Preprint No. 35, 1978,
- В. Л. Афанасьев, В. А. Липовецкий, Б. Е. Маркарян, Дж. А. Степанян, Астрофизика. 16, 193, 1980.
- 10. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, Астрофизика, 16, 5, 609, 1980.
- 11. A. G. de Bruyn, A. S. Wilson, Astron. Astrophys., 53, 93, 1976.
- 12. R. A. Sramek, H. M. Tovmassian, Ap. J., 196, 339, 1975.
- 13. E. S. A. Meurs, A. S. Wilson, Astron. Astrophys., Supl. ser., 45, 99, 1981.
- 14. L. L. Dressel, J. J. Condon, Ap. J. Suppl. ser., 36, 53, 1978.
- 15. В. А. Санамян, Р. А. Кандалян. Астрофизика, 15, 701, 1979; 16, 425, 1980.
- 16. В. А. Санамян, Р. А. Кандалян, Г. А. Оганян (в подготовке к печати).
- 17. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, vol. 1, 1961.
- F. Zwicky, E. Herzog, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, vol. 2, 1963; vol. 3, 1966; vol. 4, 1968.
- F. Zwicky, M. Karpowicz, C. T. Kowal, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, vol. 5, 1965.
- F. Zwicky, C. T. Kowal, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, vol. 6, 1968.
- 21. M. Schmidt, Ap. J., 151, 393, 1968.
- 22. Y. Avni, A. Soltan, H. Tananbaum. G. Zamorani, Ap. J., 238, 800, 1980.
- 23. A. G. de Bruyn, A. S. Wilson, Astron. Astrophys., 64, 433, 1978.
- 24. E. Hummel, Astron. Astrophys., 93, 93, 1981.
- 25. I. M. Gioia, L. Gregorini, G. Vettolani, Astron. Astrophys., 96, 58, 1981.
- 26, G. Gavazzi, G. Trinchleri, Astron. Astrophys., 97, 128, 1981.
- C. Auriemma, G. C. Perola, R. Ekers, R. Fanti, C. Lari, W. J. Jaffe, M. H. Ulrich, Astron. Astrophys., 57, 41, 1977.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.6.66

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ СПИРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИКАХ

#### В. И. КОРЧАГИН. Ю. Г. ШЕВЕЛЕВ

Поступила 26 октября 1981 Принята к печати 27 июля 1982

Численно исследован нестационарный нелинейный отклик, генерируемый в газовой плоской подсистеме спутником, вращающимся в плоскости галактического диска в направлении его вращения. Кроме черт, типичных для взаимодействующих галактик (мост и хвост, отходящий от спутника), в диске возбуждается асимметричная спиральная структура 20—30% амплитуды, сравнительно близко подходящая к центру галактики. Это подтверждает вывод Кормедии и Нормана о том, что спутники взаимодействующих галактик являются одним из возможных меха:измов генерации глобальных спиральных узоров.

1. Введенис. В последнее воемя был выполнен ояд озбот, в которых исследовалась связь динамических характеристик дисковых галактик с их морфологией [1—3]. В частности, изучение выборки спиральных галактик, проведенное Корменди [1] и Корменди и Норманом [2], привело к ряду важных результатов, которые не могут не приниматься во внимание в теории спиральной структуры. Как показали Корменди и Норман, далеко не во всех галактиках, которые обычно стносят к классу спиральных, прослеживается глобальный спиральный узор: многие галактики имеют короткие обрывочные рукава (спирали типа NGC 2841 по классификации Корменди и Нормана). Глобальный спиральный узор наблюдается лишь в тех случаях, когда в центральных областях галактик есть перемычки или овальные искажения, либо галактики не являются изолированными [2]. Корреляция регулярности узора с близостью и светимостью спутников, а также тот факт, что спиральная структура в объектах типа М 51, NGC 7753. М 81 и т. д. значительно более регулярна, чем в изолированных галактиках со сходными крупномасштабными характеристиками, привели Корменди и Нормана к выводу, что спутники, наряду с перемычками, могут генерировать и поддерживать спиральные волны плотности. К аналогичным выводам пришли и Рубин, Форд и Тоннард [3], исследуя кривые вращения 21 Sc-галактики. В выборке галактик, используемой в [3], нет

объектов, которые удовлетворяли бы стандартной волновой теории (изолированные галактики с глобальными спиральными узорами без перемычек или спутников). Авторы [3] отмечают, что перемычки, овалы, спутники или обрывочные неглобальные узоры наблюдаются в большинстве случаев. К аналогичным выводам при исследовании морфологических и структурных особенностей ряда галактик со спутниками ранее пришел Пиддингтон [4]. Таким образом, в настоящее время, по-видимому, появились прямые наблюдательные подтверждения связи спиральных ветвей ряда галактик с их спутниками.

Гипотеза о приливной природе спиралей в галактиках со спутниками является, возможно, одной из наиболее ранних попыток объяснения спиральной структуры (см. для ссылок обзор [5]), однако она сколько-нибудь существенно не развивалась, исключая несколько численных экспериментов [6-8]. В этих экспериментах галактический диск моделировался системой несамогравитирующих точечных масс, вращающихся в поле центрального тела и возмущаемых близким пролетом спутника. Хотя в некоторых из моделей и отмечалось появление спиралей на периферии диска. авторы [6], например, пришли к выводу, что спиральная структура во внутренних областях таких галактик, как М 51. М 81 и т. д., имеет по-видимому, не связанную со спутником природу. Эта же точка зрения высказывалась и Лином в дискуссии после доклада на чтениях, посвященных Стремгрену [9]. Исходя из этих, по-видимому, недостаточно обоснован. ных соображений галактики М 51 и М 81 были выбраны в качестве основных объектов для детального сравнения теории волн плотности с наблюдениями. Наличие свободных параметров теории позволило добиться хорошего согласия с наблюдениями. Однако, по мнению Калнайса [10]. такое сравнение может расцениваться скорее как иллюстрация теории воли плотности, а не ее наблюдательное подтверждение.

В работе [6] Томре и Томре высказали соображения, указывающие, что волны плотности во взаимодействующих галактиках могли быть вызваны внешним влиянием. Во-первых, как указали авторы [6], возникающее в диске приливное возмущение представляет собой медленно вращающееся асимметричное распределение массы, которое при учете самогравитации должно оказывать на центральные области галактики такое же гравитационное влияние, как и близко вращающийся спутник, т. е. генерировать спиральную волну. Второй момент связан с наличием радиального сноса возмущений с групповой скоростью от периферии к центру галактики. Таким образом, несмотря на сравнительную малочисленность спиральных галактик со спутниками среди всего класса спиральных галактик, гравитационное влияние спутников может являться важным механизмом генерации глобальных спиральных узоров.

### ГЕНЕРАЦИЯ СПИРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

В настоящей работе численно исследуется нестационарный нелинейный отклик, генерируемый в плоской подсистеме спутником, вращающимся в плоскости галактического диска в направлении вращения галактики. Как оказывается, кроме черт, типичных для взаимодействующих галактик (мост и хвост, отходящий от спутника), в диске возбуждается асимметричная спиральная структура 20—30% амплитуды, сравнительно близко подходящая к центру галактики.

2. Модель и метод счета. Поведение возмущений будем рассматривать в двухкомпонентной модели галактики, моделируя ее плоскую составляющую тонким дифференциально вращающимся газовым диском. Вращающаяся плоская составляющая удерживается в равновесии гравитационным полем сферической подсистемы. Самогравитация диска не учитывается, т. е. ее масса предполагается малой по сравнению с массой сферической подсистемы. Вращение диска дифференциально с кривой вращения, выбранной в виде:

$$V(r) = Cra^{-1/2}(a^2 + r^2)^{-3/4},$$
(1)

где C и a — безразмерные константы, определяющие форму кривой връщения; r — безразмерный радиус. Поверхностная плотность диска в начальный момент времени неоднородна по радиусу. Распределение плотности показано на рис. 1, где также приведена невозмушенная кривая вра-



Рис. 1. Распределение невозмущенной поверхностной плотности и невозмущенной вращательной скорости V в галактическом диске. Все величины приведены в безразмерном виде.

щения. Скорость звука в плоской подсистеме принималась в процессе счета постоянной. Поведение плоской подсистемы определялось численным решением системы уравнений гидродинамики в цилиндрической системе координат, вращающейся вместе со спутником. Все величины выражены в безразмерном виде через L — радиальный размер ячейки разбиения. Ро — поверхностная плотность плоской подсистемы в центральной области,  $\Omega_c$  — угловая скорость вращения спутника. Счет проводился по схеме типа «жидкость в ячейке» [11]. Счетная область разбивалась на 40 частей по радиусу и 60 частей по углу 0. Поверхностная плотность в граничных ячейках во время счета полагалась равной начальному значению, которое составляет 1.6 · 10<sup>-3</sup> от центральной плотности.

Возмущение в плоской подсистеме галактики создается гравитационным потенциалом спутника. Спутник моделировался как материальной точкой, так и однородным сферическим распределением радиуса r = 4, с массой, составляющей 8.5% от полной массы галактики, находящимся на расстоянии r = 33 от центра галактики. Вращение спутника выбрано в направлении вращения галактики в плоскости диска. Включение гравитационного поля спутника должно производиться «адиабатически» медленно, чтобы газ в диске успевал «подстраиваться» под меняющийся потенциал. В наших расчетах возмущающий потенциал спутника включался по линейному закону за 1 оборот спутника. При этом плоская подсистема успевает совершить приблизительно 3 оборота. Предварительные расчеты показали, что более длительное включение потенциала не меняет квазистационарной картины.

Если принять L = 1 кпс;  $\mu_0 = 40 \ M_{\odot}/\text{nc}^2$ ;  $\Omega_c = 8.5$  км/с кпс; то значениям параметров C = 800 и a = 14.1 соответствует масса галактики  $M_{\text{гал}} = 6.3 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ , масса спутника  $M_{c_{11}} = 5.4 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ , масса плоской подсистемы  $M_{n_A} = 3.5 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ . Значение невозмущенной вращательной скорости на r = 10 кпс при этом равно 250 км/с. Вращение диска по закону (1) при C = 800, a = 14.1 сильно дифференциально: отношение угловой скорости диска в центральной области к угловой скорости спутника равно четырем. Безразмерная скорость звука принималась равной  $\widetilde{C}_s = 3$ . При характерной скорости  $L \cdot \Omega_c = 8.5$  км/с скорость звука соответственно равна 25.5 км/с. Вращательная скорость диска в области r > 4 кпс изменяется в пределах 100 + 250 км/с (см. рис. 1), т. е. движение вещества в диске сильно сверхзвуковое.

3. Результаты. Счет проводился в течение 2.7 оборотов спутника. К моменту времени  $t = 1 T_e (T_e - период обращения спутника) устанавли$ вается квазистационарная в системе спутника картина. В инерциальнойсистеме координат возмущение представляет собой медленную волну, распространяющуюся по диску с быстрым дифференциальным вращениемНа рис. 2 показаны положения максимумов возмущенной плотности в мо $мент времени <math>t = 1.93 T_e$ . Из рисунка видно, что волновая картина может быть условно разделена на внутреннюю и внешнюю области. Во внутренней области (r < 15) к первому обороту спутника развивается спираль-

592

ный узор 20—30% амплитуды, который при дальнейшем счете трансформируется в асимметричную двухрукавную спираль с коротким спиральным обрывком в IV квадранте. Во внешней области r > 15 распределение га-



Рис. 2. На рисунке показаны положения максимумов возмущенной плотности в момент времени t = 1.93  $\Gamma_0$ . Значения возмущений выражены в процентах по отношению к первоначальной плотности. Центр галактики и положение спутника отмечены на рисунке крестиком и кружком соответственно. Вращение газа против часовой стрелки. В левом нижнем углу приведены распределения плотности газа в «мосте» в сечениях 1, 2, 3, в зависимости от расстояния до линии, соединяющей центр галактики со спутником.

за сильно асимметрично. В процессе установления равновесия после включения внешнего возмущения происходит значительное перераспределение вещества в диске. В окрестности спутника концентрируется приблизитель. но 40% массы плоской подсистемы. Область моста, соединяющего галактику со спутником, включает около 13% массы невозмущенного диска. От спутника в сторону, противоположную вращению, тянется широкий шлейф. включающий, однако, небольшое количество вещества диска. Хотя настоящая работа и не ставит целью моделирование взаимодействия какой-либо реальной системы, представляется интересным сравнить характерные черты распределения газа, появляющиеся в численном счете, с наблюдательными данными. Одной из наиболее детально исследованных галактик является взаимодействующая галактика М 81. Недавние исследования этой системы, проведенные в Вестерборке ван-дер-Хюлстом [12], позволили выявить ряд неизвестных ранее особенностей в распределении нейтрального водорода (см. рис. 3). Во внутренней окрестности r < 15 кпс M 81 показывает хорошо развитую спиральную структуру. Одна из спиральных



Рис. 3. Схематическое распределение нейтрального водорода во взаимодействующей системе NGC 3077 — М 81 работы [12].

ветвей М 81, продолжаясь, переходит в мост, соединяющий М 81 и NGC 3077. В восточной части галактики ван-дер-Хюлст отмечает наличие больших изолированных газовых масс, имеющих, по-видимому, приливное происхождение. Распределение нейтрального водорода во внешней области М 81 сильно асимметрично. При общей массе нейтрального водорода 1.4 · 10<sup>9</sup> M<sub>☉</sub> значительная ее часть, ~ 35%, сконцентрирована в окрестности спутника NGC 3077. Приблизительно такое же количество газа содержит мост, соединяющий обе галактики. Характерной особенностью наблюдаемого поля скоростей взаимодействующего комплекса являются продольный и поперечный градиенты лучевой скорости в перемычке, причем величина поперечного градиента скорости ~8 км/с · кпс оказывается

### ГЕНЕРАЦИЯ СПИРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

в два раза выше продольного градиента. Отметим, что в проведенном численном эксперименте также появляются продольный и поперечный градиенты скорости в мосте, причем отношение поперечного градиента к продольному с хорошей степенью точности постоянно вдоль моста и равно двум. Этот факт, а также сопоставление характерных черт в распределении нейтрального водорода взаимодействующего комплекса М 81 — NGC 3077 с распределением плотности на рис. 2 позволяет подтвердить вывод Корменди и Нормана [2, 3] о том, что во взаимодействующих галактиках с близкими спутниками глобальный спиральный узор, а также асимметричное распределение газа во внешних областях обязаны своим происхождением гравитационному влиянию спутника.

Ростовский-на-Дону государственный университет

# NUMERICAL STUDY OF GLOBAL SPIRAL STRUCTURE GENERATION IN INTERACTING GALAXIES

### V. I. KORCHAGIN, YU. G. SHEVELEV

Time-depended nonlinear response generated in a flat gasous subsystem by a satellite rotating in the same direction as the galaxy is numerically investigated. Besides some features, typical for the interacting galaxies (bridge and satellite tail) assymetric spiral structure is excited within the disk about 20-30 % of the amplitude, being comparatively near the center of the galaxy. This confirms Kormendy's and Norman's conclusion that satellites of interacting galaxies are one of the possible mechanisms of generation of global spiral pattern.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. J. Kormendy, Ap. J., 227, 714, 1979.
- 2. J. Kormendy, C. A. Norman, Ap. J., 233, 539, 1979.
- 3. V. C. Rubin, W. K. Ford, N. Thornnard, Ap. J., 238, 471, 1980.
- 4. J. H. Piddington, Astrophys. Space Sci., 59, 237, 1978.
- 5. A. Toomre, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 15, 437, 1977.
- 6. A. Toomre, J. Toomre, Ap. J., 178, 623, 1972.
- 7, T. M. Eneev, R. A. Sunyaev, N. N. Koslov, Astron. Astrophys., 22, 41, 1973.
- 8. M. Clutton-Brock, Astrophys, Spase Sci., 17, 292, 1972.
- 9. C. C. Lin, C. Yuan, Astron. Papers 'Dedicated to Bengt Stromgren, Publ. Copenhagen Univ., 1978, p. 369.
- A. J. Kalnajs, in "Structure and Properties Nearby Galaxies", Dordrecht-Boston, 1978, p. 113.
- 11. R. A. Gentry, R. E. Martin, B. J. Daly., J. Comput. Phys., 1, 87, 1966.

12. J. M. van der Hulst, Astron. Astrophys., 75, 97, 1979.
## АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.3-852-33

## АТМОСФЕРА КАНОПУСА. II. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ, РАДИУСА, СВЕТИМОСТИ И ВОЗРАСТА

## Л. С. ЛЮБИМКОВ, А. А. БОЯРЧУК Поступила 16 февраля 1982

На основе модели атмосферы, найденной в [1], определено содержание 21 элемента в атмосфере Канопуса (табл. 1). Анализ выполнен по относительно слабым линиям, чтобы снизить влияние неточностей в микротурбулентности и в затухании. Химический состав атмосферы Канопуса оказался близким к солнечному, причем в среднем Ig  $\varepsilon_{\alpha}$  Car — Ig  $\varepsilon_{\bigcirc} = -0.10 \pm 0.15$  (рис. 1). Как и для поздних F-сверхгигантов [2, 3], обнаружен избыток Na и дефицит C; возможно, существует также небольшой избыток Si. Показано, что вычисления по резонансным линиям дают систематически ваниженное содержание (табл. 2).

Путем сравнения с эволюционными расчетами [22] найдены масса, радиус, светимость и возраст сверхгигантов «Car, «UMi и γCyg (табл. 3). Показано, что протя – женность атмосфер этих звезд мала по сравнению с их радиусами.

1. Химический состав. В предыдущей статье [1] для Канопуса были найдены следующие значения эффективной температуры и ускорения склы тяжести:  $T_{\rm eff} = 7400$  K и lg g = 1.9. На основе модели атмосферы с такими параметрами мы вычислили содержание 21 элемента. При этом для скорости микротурбулентности было принято распределение, найденное по линиям Fe I (см. [1]). Как и при исследовании поздних F-сверхгигантов а UMi,  $\gamma$  Cyg [2] и р Cas [3], модель атмосферы Канопуса была пересчитана с учетом турбулентного давления, соответствующего принятому распределению (т), однако такой пересчет мало повлиял на определение химического состава.

В [1] мы показали, что линии ионов Ті II, Сг II и Fe II дают несколько иную зависимость  $\xi_i$  от оптической глубины  $\tau$ , чем линии Fe I. Учитывая такую неопределенность в распределении  $\xi_i$  (:), мы исключили из рассмотрения достаточно сильные линии и для подавляющего большинства элементов вычисляли содержание  $\lg \varepsilon$  по линиям с эквивалентными ширинами  $W_\lambda \lesssim 100 \text{ mA}$ . Тогда ошибки в  $\lg \varepsilon$ , которые могут поябиться из-за неопределенности в с (т), будут меньше 0.10. Кроме того, столь слабые линии практически нечувствительны к неточностям в величине затухания (см. рис. 4 в [1]). Конечно, такой отбор заметно уменьшил количество линий, выбранных первоначально для анализа. Например, при исследовании микротурбулентности в [1] мы рассмотрели 31 линию Ті II, а при определении содержания титана из них было оставлено только 7 наиболее слабых линий. Напомним, что наблюдаемые значения  $W_{\lambda}$  взяты из работы Кастли и Уотсона [4].

Найденный химический состав представлен в табл. 1. Здесь, как обычно, содержание элементов приведено в логарифмической шкале, причем  $\lg \varepsilon(El) = \lg [N (El)/N (H)] + 12$ , так что для водорода  $\lg \varepsilon(H) = 12.00$ .

Элемент	Число линий	lg s		2	Число	lg ɛ		
		Канопус	Солнце	JAEMERT	линий	Канопус	Солнце	
CI	3	8.32	8.61	Fe I	75	7.43	7.55	
Na I	4	6.51	6.28	Fe II	7	7.46	7.56	
Mg I	2	7.33	7.36	Co I	2	4.35	4.55	
Si I	1	7.67*	7.65	Ni 1	6	6.08	6.08	
Si II	3	7.72*	7.55	Ni II	3	6.30	6.21	
Cal	8	6.11	6.36	Zn I	2	4.41	4.42	
Se II	3	2.78	3.00	Sr II	1	2.75	2.90	
Ti I	7	4.87	4.86	УП	6	2.10	2.18	
Ti II	7	4.72	4.82	Zr II	5	2.81	2.96	
V I	2	3.94	4.04	Ba Il	2	2.40	2.40	
V II	9	4.06	4.21	La II	3	1.08	1.13	
Cr I	5	5.40	5.61	Ce II	10	1.53	1,59	
Cr II	3	5.51	5.50	Eu II	2	0.16**	0.35**	
Mn I	8	5.21	5.35					

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕР КАНОПУСА И СОЛНЦА

\* Содержание Si, в отличие от других элементов, найдено по сравнительно сильным линиям с WA > 160 mA.

\*\* — содержание Еи оценено по двум слабым резонансным линиям.

Для сравнения в табл. 1 дан также химический состав атмосферы Солнца, соответствующий использованной нами системе сил осцилляторов. В основном, как и в [2, 3], солнечное содержание взято из работы [5], однако для некоторых элементов в табл. 1 приведены уточненные значения  $\lg e_{\odot}$ . Например, линиям Fe II и La II соответствует фотосферное содержание Fe и La, принятое в [6]. Как уже отмечалось в [1], силы осцилляторов для линий Fe I были приведены в 7-1019

Таблица 1

оксфордскую систему, благодаря этому величина  $\lg \varepsilon$  (Fe) для Солнца стала равной 7.55 вместо 7.45. Далее, на основе работ [7, 8] было уточнено солнечное значение  $\lg \varepsilon$  (Со), определяемое по линиям Со I в нашей шкале gf-величин [5]. Для Ва II были приняты силы осцилляторов [9] и фотосферное содержание  $\lg \varepsilon$  (Ва) = 2.40 [10]. Наконец, в данных [4] для Канопуса приведены лишь две резонансные линии Eu II, поэтому солнечное значение  $\lg \varepsilon$  (Eu) мы нашли только поэтим двум линиям из работ [11, 12], использовав силы осцилляторов в шкале [5].





Из рис. 1 видно, что химический состав атмосферы Канопуса близок к составу атмосферы Солнца. При этом содержание большинства элементов попадает в интервал

$$\lg_{a \, Car} - \lg_{\odot} = -0.10 \pm 0.15. \tag{1}$$

Таким образом, содержание элементов у  $\alpha$  Car, возможно, понижено относительно Солнца в среднем на 0.1 в логарифме, однако настаивать на реальности столь малого различия мы не можем, так как оно могло появиться из-за неточностей в параметрах T, и lg g. Отметим, что разброс порядка  $\pm 0.15$  около среднего значения  $\Delta \lg \varepsilon = -0.10$  вполне объясняется случайными ошибками определения lg сля Канопуса и для Солнца.

Из рис. 1 видно, что три элемента — С, Na и Si — не попали в интервал (1). Как и у сверхгигантов подкласса F 8 [2, 3], углерод показал дефицит. а натрий — избыток относительно Солнца. Причины аномального содержания С и Na у F-сверхгигантов, по-видимому, имеют эволюционную природу и подробно обсуждаются в [3]. Что касается найденного избытка Si, то в нем нельзя быть уверенным из-за отсутствия достаточно слабых линий Si I и Si II. Действительно, три наиболее слабые линии Si II, использованные в анализе, имеют эквивалентные ширины в диапазоне  $W_{\lambda} = 160-180 \text{ mA}$ , и здесь на результат могла повлиять указанная выше неопределенность в распределении микротурбулентности. Для Si I в данных [4] имеется только одна линия с  $W_i = 270 \text{ mA}$ , и она дает нормальное содержание кремния (см. табл. 1). Тем не менее, следует огметить, что небольшой избыток Si как будто намечается и у сверхгигантов а UMi и ү Cyg [2], а в атмосфере р Cas содержание этого элемента оказалось повышенным в 3 раза [3].

Канопус был в числе 9 южных сверхгигантов, исследованных в работе Лука [13]. Анализ химического состава « Саг был выполнен на основе двух спектрограмм с дисперсией 9 А/мм в области длин волн 5300—6850 А. Силы осцилляторов в [13] находились по спектру Солнца, то есть применялась дифференциальная методика (для этого необходимо было задать модель солнечной атмосферы, а также микротурбулентность и содержание элементов в ней). Основной вывод указанной работы заключается в том, что для всех 9 сверхгигантов содержание металлов получилось в 2—3 раза выше, чем на Солнце. В частности, для Канопуса в [13] в среднем найдено Ig  $c_{\rm O} = 0.56$ , что существенно отличается от нашего результата (1). Отметим, что в другой статье Лука [14] аналогичный избыток металлов найден еще для 14 сверхгигантов классов G—K.

Вывод Лука [13, 14] относительно повышенного содержания элементов в атмосферах сверхгигантов классов F—К, находящихся в окрестности Солнца, не подтверждается данными других авторов. В частности, сам Лук [13] указывает на три работы, в которых были исследованы три звезды из его списка, и при этом для них был получен химический состая, близкий к солнечному. Нам известны данные еще двух авторов [15, 16], также получивших нормальный химический состав для ряда сверхгигантов. Наконец, наши результаты для  $\alpha$  UMi,  $\gamma$  Cyg [2],  $\rho$  Cas [3] и  $\alpha$  Car определенно указывают на то, что содержание металлов в атмосферах этих сверхгигантов в среднем близко к солнечному.

По-видимому, содержание элементов, определенное Луком [13, 14]. является завышенным. Причиной этого не могут быть ошибки я  $T_{*\phi\phi}$  и lg g. Например, для Канопуса, как уже отмечалось в [1], Лук [13] нашел значения  $T_{*\phi\phi} = 7500$  K и lg g = 1.85, очень близкие к нашим. Зато скорость микротурбулентности  $\epsilon_t = 2.7$  км/с принятую для  $\alpha$  Car в [13], следует признать заниженной. Напомням, что при предположении = const мы получили в [1] для Канопуса = 4.5 км/с по линиям Fe I и  $\epsilon_t = 6$  км/с по линиям Ti II, Cr II и Fe II. Именно занижение , по нашему мнению, и явилось причиной переоценки содержания элементов в [13, 14]. Это заключение можно подтвердить конкретными расчетами для Канопуса. Например, если вычислять содержание железа для группы линий Fe I с ширинами  $W \approx 150$  mA, то для них при замене = 4.5 км/с на = 2.7 км/с значение lg  $\epsilon$  (Fe) увеличивается в среднем на 0.7. Отметим, что Лук определял ; по линиям Felc ширинами  $W_{\lambda} < 175 \text{ mA}$ , а химический состав вычислял по линиям с  $W_{\lambda} < 250 \text{ mA}$ . На примере ; Cyg было показано (см. [17]), что рассмотрение только относительно слабых ( $W_{\lambda} < 150 \text{ mA}$ ) линий Fel совершенно недостаточно для корректного исследования микротурбулентности в атмосферах сверхгигантов. В частности, если для ; Cyg, следуя методике Лука, пренебречь более сильными линиями Fel, тогда вместо точной зависимости  $\xi_{\ell} = \xi_{\ell}(\tau)$  получается приближенное значение  $\xi_{\ell} = 4 \text{ км/с}$ ; в результате величина lgs для линий с  $W_{\lambda} > 150 \text{ mA}$  оказывается завышенной на несколько десятых.

2. Резонансные линии. Содержание элементов в атмосфере Канопуса. представленное в табл. 1, было найдено по субординатным линиям (исключая Eu II). Так как использование резонансных линий приводит к систематически отличающимся результатам, то мы их рассмотрим отдельно. В табл. 2 приведен список таких линий, их силы осцилляторов, сведения о постоянных затухания, наблюдаемая эквивалентная ширина и полученное содержание соответствующего элемента. Для сравнения здесь же указаны средние значения lg є, определенные по субординатным линиям, э также солнечное содержание lg E. Отметим, что для резонансных и субординатных линий использована одна и та же система сил осцилляторов gf. В частности, для резонансных линий Fe I применены оксфордские gf-величины [18], а для MnI — исправленные значения [19]. Сведения о ү<sub>гад</sub>, lg C4 и поправочных множителях к ү<sub>чдw</sub> брались из литературы; если точные значения не были известны, тогда постоянная затухания ү<sub>гад</sub> вычислялась по "классической" формуле (см. [1]), поправочный множитель к ү<sub>удж</sub> полагался равным 2.0 или 2.5, а для константы  $C_4$ , необходимой при расчете  $\gamma_{++}$ , принималось  $\lg C_4 = -13.4$ .

Для каждой резонансной линии в табл. 2 указаны два значения lg  $\varepsilon$ . Сначала вычисления были выполнены при обычных предположениях; в частности, функция источников в линии  $S_{\bullet}(\tau_{\bullet})$  полагалась равной функции Планка  $B_{\bullet}(\tau_{\bullet})$ . Из табл. 2 видно, что при  $S_{\bullet} = B_{\bullet}$  резонансные линии дают систематически заниженное содержание по сравнению с субординатными линиями или с  $\lg \varepsilon_{\odot}$  (исключение составляет лишь линия 4226 Cal). Как известно, равенство  $S_{\bullet} = B_{\bullet}$  равносильно предположению о чистом поглощении. Однако такое предположение для резонансных линий не выполняется, так как здесь доминирующую роль играет процесс рассеяния. Более правильным в этом случае является вычисление  $S_{\bullet}(\tau_{\bullet})$  из интегрального уравнения (когерентное рассеяние):

600

#### АТМОСФЕРА КАНОПУСА. 11

T		1					- 1
1	a	b	7	H	11	a	6
_		-	-		-	-	_

и в по суб-ординатими линиям Затухание lge (MIA) Элемент noupas-8 á lg gf Ан ия lg ₅⊙ lg Ca ×10<sup>-</sup> × 1 -11-Trad ×'A K a S 5 7.33 7.36 Mg I 4571.10 -5.40 151 -13.4\* 1.06\* 2.0\* 7.21 7.34 12 A1 1 3944.01 -0.75 [9] 5.89 6.04 6.40 -13.302.6 1.9 202 5.49 5.64 3961.52 -0.45 [9] -13.302.6 1.9 194 Cal 4226.73 +0.24 [5] -14.802.5\* 6.54 6.57 6.11 6.36 1.8 313 4254.35 5.40 5.61 Cr I -0.11 [5] -15.121.7 5.11 5.25 1.23 166 4274.80 5.05 5.20 -0.23 [5] -15.121.22\* 1.7 148 Mn I 4033.07 -0.75 [19] -13.4\* 1.37\* 2.5\* 111 4.72 4.97 5.21 5.35 4034.49 4.93 5.17 -0.93 [19] -13.4\* 1.37\* 2.5\* 95 7.00 7.18 7.43 7.55 Fe I 3859,91 -0.71 [18] -13.4\* 1.49\* 2.5 273 7.24 7.46 4216.19 -3.36 [18] -13.4 1.25\* 2.5 62 7.08 7.26 4375,93 -3.03 [18] -13.4\* 1.16\* 2.5 83 2.40 2.60 2.75 2.90 317 Sr II 4077.71 +0.21 [5] ←13.66 2.0 1.5 2.31 2.42 4215.52 +0.01 [5] -13.66 2,0 1.5 298 Ba II 4554.03 -13.4\* 2.9 1.5 239 2.01 2.01 2.40 2.40 +0.19 [9] 4934.09 1.97 1.94 -0.13[9]-13.4\* 2.9 1.5 215 -0.01 0.21 0.35\*\* **3**0 Eu II 3819.67 - 0.49 [5]  $-13.4^{*}$ 1.52 1.5 4129.73 +0.31 [5] -- 13.4\* 1.30\* 1.5 19 -0.12 0.11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РЕЗОНАНСНЫМ ЛИНИЯМ

Приближенные значения.

Содержание Ей для Солнца получено по тем же двум резонансным линиям.

$$S_{v}(\tau_{v}) = \frac{\lambda_{v}(\tau_{v})}{2} \int_{0}^{\infty} S_{v}(t_{v}) E_{1}(|\tau_{v} - t_{v}|) dt_{v} + [1 - \lambda_{v}(\tau_{v})] B_{v}(\tau_{v}), \qquad (2)$$

где  $\tau_*$  — оптическая глубина в частоте  $\nu$ ,  $E_1(\tau_*)$  — первая интегральная показательная функция. Величина  $\lambda_{\nu}(\tau_{\nu})$  может принимать значения от 0 до 1 и выражается через коэффициенты поглощения и рассеяния в непрерывном спектре и в линии, а именно:

$$h_{\gamma} = \frac{(1-\gamma^*)l_{\gamma} + \sigma}{l_{\gamma} + \chi + \sigma},$$
(3)

где и « — соответственно коэффициенты поглощения и рассеяния в непрерывном спектре, *l*, — коэффициент поглощения в линии, а γ<sup>\*</sup> — доля квантов, уходящих из линии вследствие истинного поглощения.

Для численного решения уравнения (2) была составлена вычислительная программа, основанная на итерационно-варнационном методе, описанном в [20]. С помощью указанной программы было просчитано содержание элементов по резонансным линиям из табл. 2 (при этом в равенстве (3) мы полагали  $\gamma^* = 0$ ). Результаты этих вычислений дают второй столбец эначений lg  $\varepsilon$  в табл. 2 ( $S. \neq B_v$ ). Видно, что для большинства линий отказ от предположения  $S_v = B$ , повышает величину lg  $\varepsilon$ . По слабым резонансным линиям MgI и Eull мы получаем теперь практически нормальное содержание. Однако для других элементов увеличение lg  $\varepsilon$  оказывается недостаточным, а для Ball никакого увеличения lg  $\varepsilon$  вообще не произошло. Возникает вопрос, почему резонансные линии приводят к заниженным оценкам lg  $\varepsilon$ .

Маловероятно, что причиной этого являются какие-то систематические ошибки в силах осцилляторов или в затухании. Скорее, здесь играют роль отклонения от локального термодинамического равновесия (ЛТР). В пользу такого предположения говорят расчеты [21], выполненные для двух резонансных линий Sr II при  $T_{sop} = 9650$  К. Для такой эффективной температуры (соответствующей эвезде класса АО) вычисления при условии ЛТР дают заниженное содержание стронция; отказ от этого условия и расчет населенностей уровней из уравнений статистического равновесия приводят к уменьшению теоретических значений  $W_{s}$  примерно в 2 раза. Очень возможно, что отклонения от ЛТР необходимо учитывать и при более низких температурах (по крайней мере, при расчете резонансных линий Sr II). Этот вопрос требует дополнительного исследования.

3. Масса, радиус, светимость и возраст сверхинантов а Саг, а U Mi и  $\gamma$  Cyg. Недавно Бекер [22] выполнил расчеты эволюции звезд с массами от  $3M_{\odot}$  до  $11 M_{\odot}$ . На основании этих данных по найденным значениям  $T_{noop}$  и lgg мы оценили массу M, радиус R, светимость L и возраст t Канопуса, а также исследованных в [2] сверхгигантов а UMi и  $\gamma$  Cyg. Заметим, что масса  $\gamma$  Саз слишком велика и к этой звезде невозможно применить результаты эволюционных вычислений, опубликованные в [22].

На рис. 2 по данным [22] в плоскости lg  $T_{\to -}$  lg g построены три трека, соответствующие массам 5  $M_{\odot}$ , 7  $M_{\odot}$  и 9  $M_{\odot}$  при исходном содержании гелия Y = 0.28 и содержании тяжелых элементов Z = 0.02 (эти значения Y и Z приблизительно соответствуют первоначальному химическому составу Солнца). Чтобы не загромождать рисунок, для 9  $M_{\odot}$  приведена лишь верхняя часть трека ("петля"), соответствующая стадии сверхгиганта. Здесь же разными значками указаны положения а Car, а UMi и ү Cyg вместе с ошибками определения  $T_{pqq}$  и lg g.



Рис. 2. Эволюционные треки для звезд с массами 5  $M_{\odot}$ , 7  $M_{\odot}$  и 9  $M_{\odot}$  (по данным [22]). Для трека 9  $M_{\odot}$  представлена только верхняя часть, соответствующая стадии сверхгиганта. Штриховая линия — участок трека 7 $M_{\odot}$ , для которого в [22] нет данных. ZAMS — главная последовательность нулевого возраста. Стрелки указывают направление движения звезды по треку.

Из рис. 2 видно, что, например, Канопусу при заданных Y и Z лучше всего соответствует масса  $M = 8 M_{\odot}$  с возможной ошибкой не болеее  $\pm 1.5 M_{\odot}$ . Полярная ( $\alpha U Mi$ ), на первый взгляд, почти точво

ложится на трек с массой 7  $M_{\odot}$ . Однако ее положение соответствует тому участку указанного трека, когда у звезды еще не образовалась мощная внешняя конвективная зона и когда еще не произошло перемешивания вещества. Между тем пониженное содержание углерода, найденное нами для [ $\alpha$  U Mi в [2], говорит о том, что перемешивание уже произошло. Поэтому мы считаем, что положение  $\alpha$  U Mi на рис. 2 приходится не на трек 7  $M_{\odot}$ , а на нижнюю часть "петли" неизображенного здесь трека звезды с массой 6  $M_{\odot}$ . Отметим, что оценка радиуса Полярной, найденная при  $M = 6 M_{\odot}$ , лучше согласуется со значением R, полученным другим методом (см. ниже). Наконец, положение  $\gamma$  Суд на рис. 2 таково, что сразу же можно указать нижнюю границу для массы этой звезды:  $M \ge 9 M_{\odot}$ . К сожалению, в данных Бекера [22] отсутствуют результаты расчетов для 11  $M_{\odot}$  при Y = 0.28 и Z = 0.02. Поэтому массу  $\gamma$  Суд мы оценили путем экстраполяции:  $M/M_{\odot} = 11 \pm 2$ .

Когда масса звезды M определена, ее раднус R и светимость L можно найти с помощью следующих соотношений:

$$\lg \frac{R}{R_{\odot}} = 2.22 + \frac{1}{2} \lg \frac{M}{M_{\odot}} - \frac{1}{2} \lg g, \qquad (4)$$

$$\lg \frac{L}{L_{\odot}} = -15.045 + 2 \lg \frac{R}{R_{\odot}} + 4 \lg T_{*\phi\phi},$$
 (5)

где  $M_{\odot}$ ,  ${}^{*}R_{\odot}$  и  $L_{\odot}$ — соответственно 'масса, радиус и светимость Солнца. Возраст t находится непосредственно из таблиц [22]. Отметим, что стадия сверхгиганта занимает сравнительно короткий промежуток времени, поэтому возраст t определяется достаточно уверенно (относительная ошибка здесь составляет  $\pm$  30  ${}^{0}/_{0}$ ). Что касается ошибок в определении M, R и L, то их основным источником являются неточности в lgg (это хорошо видно, например, из рис. 2).

Полученные значения M, R, L и t представлены в табл. 3. Здесь же приведена оценка протяженности атмосферы  $\Delta H/R$ . Геометрическая толщина атмосферы  $\Delta H$  была найдена по моделям атмосфер сверхгигантов  $\alpha$  Car,  $\alpha$  U Mi и  $\gamma$  Cyg; при этом верхней границей считался уровень  $\tau_{5000} = 0.001$ , а нижней границей — уровень  $\tau_{5000} =$ = 10. Из табл. 3 видно, что значения  $\Delta H/R$  составляют всего лишь  $1-2^{0}/_{0}$ , то есть эффектом сферичности здесь вполне можно пренебречь.

Особый интерес в табл. З представляют данные о возрасте исследованных сверхгигантов. Видно, что все эти звезды очень молоды. Особенно молод наиболее массивный сверхгигант  $\gamma$  Cyg, возраст которого составляет только 17  $\pm$  5 млн. лет.

604

Результаты определения M и R, приведенные в табл. 3, можно сравнить с данными других авторов. В частности, в [23] представлены следующие оценки массы и радиуса Канопуса, полученные по абсолютной болометрической величине  $M_{bol}$ :  $M = 9 M_{\odot}$  и  $R = 45 R_{\odot}$ . Эти значения в пределах ошибок хорошо согласуются с нашими результатами для а Car.

Таблица ?

ОЦЕНКИ МАССЫ. РАДИУСА, СВЕТИМОСТИ, ВОЗРАСТА И ПРОТЯЖЕН-НОСТИ АТМОСФЕР СВЕРХГИГАНТОВ ПРИ У = 0.28 И Z = 0.02

Звезда	Sp	T <sub>app</sub>	lg g	M/M <sub>☉</sub>	R/R 🕤	L/L <sub>O</sub>	t (10 <sup>6</sup> лет)	∆ <i>H</i> /R
α Car α U Mi γ Cyg	F0 Ib—II F8 Ib—II F8 Ib	7400 6050 6050	1.9 1.95 1.2	8 6 11	53 43 138	7500 2200 23000	32 58 17	0.007 0.011 0.020
Относитель- ная ошибка	_	±2 %	±15°0	±20 %	±40 °/0	±100 %	±30 %/0 ]	-

Особенность з UMi состоит в том, что эта звезда является цефеидой с периодом P = 3.98 дня. Для цефеид известна корреляция между M, R и lg g, с одной стороны, и периодом P, с другой [24]. Воспользоваешись такой корреляцией, для  $\alpha$  UMi находим

$$\lg g = 2.0, R = 37 R_{\odot}$$
 и  $M = 5.3 M_{\odot},$ 

причем ошибка в определении M может составлять  $2M_{\odot}$ . Таким образом, и для этого сверхгиганта получаем хорошее согласие с нашими результатами (см. табл. 3).

В работе Парсона и Боу [24] наряду с цефендами были исследованы и нормальные F-и G-сверхгиганты класса светимости lb. Для 11 звезд этого типа в [24] определены масса и радиус; в среднем для них  $\overline{M} = 9 \ M_{\odot}$  и  $\overline{R} = 110 \ R_{\odot}$ . Из сопоставления этих данных с нашими оценками M и R для  $\gamma$  Cyg, приведенными в табл. 3, следует, что масса и радиус Cyg лежат несколько выше среднего уровня, характерного для F- и ранних G-сверхгигантов класса светимости lb. Однако различие невелико, и его можно объяснить ошибками определения M и R. Кроме того, имеются и другие сверхгиганты со сходными параметрами M и R. Например, среди 11 сверхгиганты, исследованных в [24], для трех получены массы  $M/M_{\odot} = 10.5 - 13.8$  и для трех звезд значения R попадают в интервал  $R/R_{\odot} = 130 - 140$ .

В заключение отметим, что определение массы, радиуса и светимости в сильной мере зависит от исходного содержания металлов Z. Наши оценки M, R и L получены при Z = 0.02. Из расчетов [22] следует, что если вместо Z = 0.02 принять, например, несколько повышенное содержание Z = 0.03, тогда все значения M придется увеличить на 2  $M_{\odot}$ .

4. Основные результаты. 1). По относительно слабым линиям с эквивалентными ширинами W 100 mA (чтобы снизить влияние ошибок в микротурбулентности и в затухании) определено содержание 21 элемента. Величина Ig © для Канопуса оказалась в среднем на 0.1 меньше, чем для Солнца.

2). Как и для поэдних F-сверхгигантов, исследованных нами ранее [2, 3], для «Саг обнаружены избыток Na и дефицит C; возможно, имеется также небольшой избыток Si. Не подтверждено повышенное содержание металлов у Канопуса, найденное в работе Лука [13]. По-видимому, данные Лука [13, 14] относительно химического состава сверхгигантов систематически завышены вследствие занижения скорости микротурбулентности.

3). Рассмотрение резонансных линий приводит к более низким значениям lg є, чем вычисления по субординатным линиям. Это несоответствие не удается устранить даже при более точном расчете функции источников, учитывающем рассеяние в линиях. Таким образом, анализ спектров Канопуса выявил два противоречия — во-первых, между линиями Fel и линиями Till, Crll и Fell при исследовании микротурбулентности (см. [1]), во-вторых, между резонансными и субординатными линиями при спределении содержания элементов. Возможно, эти противоречия исчезнут, если отказаться в расчетах от предположения о локальном термодинамическом равновесии.

4). Путем сопоставления  $T_{sop}$  и lgg с результатами эволюционных вычислений [22] найдены масса, радиус, светимость и возраст α Car, α U Mi и γ Cyg. Показано, что протяженность атмосфер этих сверхгигантов мала по сравнению с их радиусами.

Крымская астрофизическая обсерватория

# THE ATMOSPHERE OF CANOPUS. II. CHEMICAL COMPOSITION DETERMINATION OF MASS, RADIUS, LUMINOSITY AND AGE

### L. S. LYUBIMKOV, A. A. BOYARCHUK

On the basis of the model atmosphere obtained in [1] we have found the abundances of 21 elements (table 1). To reduce the effect of errors in microturbulence and damping we have analysed relatively weak lines. The chemical composition of the atmosphere of Canopus is close to the solar composition, and on the average  $\log \varepsilon_{aCar} - \log \varepsilon_{...} =$ = -0.10 ± 0.15 (fig. 1). As for late *F*-type supergiants [2, 3] sodium overabundance and carbon underabundance were found for a Car. Possibly, silicon overabundance exists, too. It is shown that the calculations by resonance lines provide systematical underestimation of abundances (table 2).

By comparing the evolutionary calculations [22] we have found masses, radii, luminosities and ages of supergiants  $\alpha$  Car,  $\alpha$  U Mi and  $\gamma$  Cyg (table 3). It is shown that the extension of atmospheres of these stars is small in comparison with their radii.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. А. А. Боярчук, Л. С. Любимков, Астрофизика, 18, 375, 1982.
- 2. А. А. Боярчук, Л. С. Любимков, Изв. Крымской обс., 64, 3, 1981.
- 3. А. А. Боярчук, Л. С. Любимков, Изв. Крымской обс., 66, 130, 1982.
- 4. J. C.Castley, R. D. Watson, Astron. Astrophys. Suppl. ser., 41, 397, 1980
- 5. А. А. Боярчук, М. Е. Боярчук, Изв. Крымской обс., 63, 66, 1981.
- 6. Л. С. Любимков, И. С. Саванов, Изв. Крымской обс., 68 (в печати).
- 7. D. X. Kerola, L. H. Aller, P. A. S. P., 88, 122, 1976.
- 8. E. Biemont, Solar Phys., 56, 79, 1978.
- 9. R. L. Kurucz, E. Peytremann, Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Report, No. 362, 401, 1975.
- 10. R. J. Rutten, Solar Phys., 56, 237, 1978.
- 11. A. Grevesse, G. Blanquet, Solar Phys., 8, 5, 1969.
- 12. G. Bachman, Solar Phys., 15, 113, 1970.
- 13. R. E. Luck, Ap. J., 232, 797, 1979.
- 14. R. E. Luck, Ap. J., 212, 74, 1977.
- 15. S. B. Parsons, Ap. J., 150, 263, 1967.
- 16. J. van Paradijs, Astron. Astrophys., 23, 369, 1973.
- 17. Л. С. Любилков, И. С. Саванов, Изв. Крымской обс., 67 (в печати).
- E. E. Blackwell, P. A. Ibbetson, A. D. Petford, M. J. Shallis, M. N., 186, 633-1979.
- 19. D. E. Blackwell, B. S. Collins, M. N., 157, 255, 1972.
- 20. Л. С. Любимков, Изв. Крымской обс., 52, 148, 1974.
- 21. F. Praderie, in "Physics of Ap-Stars" (IAU Coll. No. 32), Vienna, 1975, p. 201.
- 22. S. A. Becker, Ap. J. Suppl. ser., 45, 475, 1981.
- 23. F. Praderle, A. Taluvera, H. Lamers, Astron. Astrophys, 86, 271, 1980.
- 24. S. B. Parsons, G. D. Bouw, M. N., 152, 133, 1971.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 52—6—64

## ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНИИ ПРИ ЧАСТИЧНОМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ПО ЧАСТОТЕ

### Д. И. НАГИРНЕР Поступила 27 января 1982 Принята к печати 27 нюля 1982

Рассматривается многократное рассеяние излучения в спектральной линии, расширение которой обусловлено только движением атомов в бесконечной среде при однородных и изотропных источниках. Непрерывное поглощение не учитывается. Найдено точное выражение для интенсивности излучения при произвольной зависимости мощности первичных источников от частоты. Из него получена интенсивность при нестационарных источниках, излучающих в центре линии, если задержка фотонов определяется только временем, которое они проводят в поглощенном состоянии. Изучено асимптотическое поведение интенсивности в крыле линии и на больших временах.

1. Введение. В последнее время большое развитие получила теория образования спектральных линий при частичном (не полное) перераспределении по частоте (ЧПЧ) при каждом акте рассеяния. Предложены и широко применяются численные методы решения задач [1, гл. 13], получены общие уравнения и соотношения между функциями, описывающими поля излучения (см., например, [2, 3]), и асимптотические оценки различных величин [4—6]. Вместе с тем точное решение известно лишь для одной задачи [7] (стационарной, с ним связано решение нестационарной задачи, см. ниже). В настоящей работе точное решение (также стационарное и нестационарное) получено еще для одного случая.

2. Стационарное свечение бесконечной среды. Точные решения удается получить лишь для идеализированной задачи об изотропном и однородном поле излучения при чисто доплеровском уширении линии в бесконечной среде в линейном приближении.

Пусть в такой среде равномерно распределены атомы с двумя дискрегными уровнями и континуумом и в каждой точке все время изотропно излучаются фотоны безразмерной частоты x<sub>1</sub> (расстояние от центра линии в доплеровских ширинах). Тогда уравнение, определяющее интенсивность излучения *I* произвольной частоты x, имеет вид.

$$[\Phi(x) + \beta] I - \lambda \int_{-\infty}^{\infty} R(x, x') I(x', x_1) dx' = \delta(x - x_1), \qquad (1)$$

где  $\Phi(x)$  — профиль коэффициента поглощения, нормированный так, что интеграл от него по x равен 1;  $\beta$  — отношение коэффициента поглощения в континууме к полному поглощению в линии, деленному на ее ширину;  $\lambda$  — вероятность выживания фотона при рассеянии в линии; R(x, x') функция перераспределения (ФП). Интенсивность  $l(x, x_1)$  является функцией Грина нашей задачи, и интенсивность излучения при произвольной зависимости мощности источников от частоты  $x_1$  выражается через интеграл по  $x_1$  от произведения этой мощности на  $l(x, x_1)$ .

Уравнение (1) легко решается, если имеется полное перераспределение по частоте (ППЧ), то есть  $\mathcal{R}(x, x') = \Phi(x) \Phi(x')$ . Приведем это решение для сравнения с решением в случае ЧПЧ. Оно имеет вид

$$l(x, x_1) = \frac{\delta(x - x_1)}{\Phi(x_1) + \beta} + \frac{\Phi(x)}{\Phi(x) + \beta} \frac{\Phi(x_1)}{\Phi(x_1) + \beta} \frac{\lambda}{1 - \lambda + \lambda \Delta(\beta)}, \quad (2)$$

где

$$\Delta(\beta) = \beta \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(x) [\Phi(x) + \beta]^{-1} dx.$$
 (3)

Выражение (2) является решением (1) при ППЧ с произвольным профилем  $\Psi$  (x).

Чисто доплеровскому профилю  $\Phi(x) = \pi^{-1/2} e^{-x^2}$ , строго говоря, соответствует не ППЧ, а ФП (см., например, [1], гл. 13, [8]),

$$R(x, x_1) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(y) \, \mathrm{d}y, \qquad (4)$$

где  $x = \max(|x|, |x_1|)$ . Точные решения (1) получаются для этого случая, когда либо  $\lambda = 1$ , либо  $\beta = 0$ .

Отметим, что в работе [9] решение уравнения (1) с ФП (4) сведено к решению дифференциального уравнения второго порядка с начальными условиями, а в [10] это уравнение решено численно при  $\lambda = 0.7$ ;  $B = 10^{-3} \pi^{-1/2}$ .

3. Точные решения ЧПЧ с ФП (4). а) Случай  $\lambda = 1$ . Легко показать, что когда фотоны гибнут только в континууме, а в линии происходиг чистое рассеяние ( $\lambda = 1$ ), то

$$I(x, x_1) = \delta(x - x_1) [\Phi(x_1) + \beta]^{-1} + \int_{x}^{\infty} \Phi(y) [\Phi(y) + \beta]^{-2} dy.$$
 (5)

При х, = 0 такое решение получено в [7].

6) Случай  $\beta = 0$ . Когда гибель фотонов происходит только вследствие истинного поглощения в линии, а поглощения в континууме нет ( $\beta = 0$ ,  $\lambda < 1$ ), то функция Грина получается более сложной и имеет вид

$$I(x, x_1) = \delta(x - x_1)/\Phi(x_1) + \lambda F_1(x) W(x).$$
(6)

Здесь  $x = \min(|x|, |x_1|), F_1(x) = \pi^{1/2} F(1/2 - \hbar/2, 1/2, x^2),$  где F — вырожденная гипергеометрическая функция, а функция W'(x) определяется через  $F_1(x)$  и  $F_2(x) = |x| F(1 - \hbar/2, 3/2, x^2)$  или через функцию Уиттекера:

$$W(\mathbf{x}) = \Gamma (1/2 - \lambda/2) F_1(\mathbf{x})/2\Gamma (1 - \lambda/2) \pi^{1/2} - F_2(\mathbf{x}) =$$
  
=  $\Gamma (1/2 - \lambda/2) \pi^{-1/2} 2^{-1} e^{\pi^{3/2}} |\mathbf{x}|^{-1/2} W_{-1/4 + \lambda, 2, -1/4} (\mathbf{x}^2) =$  (7)  
=  $\pi^{-1/2} 2^{-1} \int_0^\infty e^{-ux^2} u^{-1/2 - \lambda/2} (1 + u)^{-1 + \lambda/2} du.$ 

Функции  $F_1(x)$  и  $F_2(x)$  при  $\lambda \leqslant 1$  и  $|x| \to \infty$  экспоненциально возрастают, а W(x) убывает (см. ниже).

Убедиться, что (6) действительно является решением (1) при  $\beta = 0$ , можно прямой подстановкой, воспользовавшись свойствами вырожденных гилергеометрических функций ([11], формулы 9.212 (1), 9.213) и следующими из них соотношениями ( $x \ge 0$ ):

$$F_{3}(x) = \int_{0}^{\infty} F_{1}(x') \, \mathrm{d}x' = \pi^{1/2} x F(1/2 - k/2, 3/2, x^{2}) = [2xF_{1}(x) - F_{1}'(x)]/2^{k}.$$
(8)

$$F_{4}(x) = \int_{0}^{1} F_{2}(x') dx' = [1 - F(-\lambda/2, 1/2, x^{2})]/2\lambda =$$
$$= [2xF_{2}(x) - F_{2}(x) + 1]/2\lambda,$$
(9)

а также

$$\int_{x}^{\infty} \Phi(x') F_{3}(x') dx' = \Phi(x) F_{1}(x)/2^{j}, \qquad (10)$$

$$\int \Phi(\mathbf{x}') F_4(\mathbf{x}') \, \mathrm{d}\mathbf{x}' = [R(\mathbf{x}, 0) + \Phi(\mathbf{x}) F_2(\mathbf{x})]/2\lambda.$$
(11)

При этом понадобятся также вронскиан функций F, и F.

$$F_1(x)F_2'(x) - F_1(x)F_2(x) = 1/\Phi(x)$$
(12)

611

и определитель, составленный из четырех функций  $F_i(x)$  и равный согласно (8), (9) и (12)

$$F_{1}(x) F_{1}(x) - F_{2}(x) F_{3}(x) = [F_{1}(x) - 1/\Phi(x)]/2i.$$
(13)

Функция  $F_1$  является решением однородного уравнения, соответствующего (1). Заметим, что собственной функцией (с. ф.) уравнения (1) функция  $F_1$  будет лишь тогда, когда при  $x \to \infty$  она не возрастает экспоненциально. Поэтому собственные значения (1) равны  $\lambda_n = 2n + 1$ , а с. ф. суть  $F(-n, 1/2, x^2)$ . Они с точностью до численного множителя совпадают с многочленами Эрмита  $H_{2n}(x)$ . По этим с. ф. можно разложить ФП (4) (см. [12] или [13]) и решение (6):

$$I(x, x_1) = \frac{\partial(x - x_1)}{\Phi(x_1)} + \lambda \sum_{n=0}^{\infty} \frac{H_{2n}(x) H_{2n}(x_1)}{2n + 1 - \lambda} \frac{1}{2^{2n} (2n)!}$$
(14)

Из (14) можно получить выражения для вкладов рассеяний различных кратностей, если разложить дробь  $[2n + 1 - i]^{-1}$  по степеням  $\lambda$ .

Отметим, что (6) сильно упрощается при  $x_1 = 0$ , а именно:

$$I(x, 0) = \pi^{1/2} \delta(x) + i \pi^{1/2} W(x).$$
 (15)

Если  $\lambda \to 1$ , то интенсивность излучения стремится к бесконечности. Легко показать, что тогда при фиксированных x и  $x_1$  интенсивность  $I(x, x_1) \sim (1 - \lambda)^{-1}$ . В крыле' линии  $(|x| \to \infty)$  поведение интенсивности излучения определяется функцией W(x), для которой

$$W(x) \sim \Gamma(1/2 - \lambda/2) |x|^{-(1-\lambda)}/2\pi^{1/2}.$$
 (16)

4. Нестационарное свечение бесконечной среды. Если мощность источников в бесконечной среде зависит от частоты и от времени, то нестационарная интенсивность определяется уравнениями

$$t_{2}\partial I/\partial t = -\left[\Phi(x) + \beta\right]I + \Phi(x) S(x, t),$$

$$t_{1}\sigma S/\partial t = -S + i \int_{-\infty}^{\infty} R(x, x')I(x', t) dx'/\Phi(x).$$
(17)

#### Д. Н. НАГИРНЕР

Здесь согласно обозначениям [8]  $t_1$ -среднее время, проводимое фото. нами в поглощенном состоянии, а  $t_2$ -в пути между рассеяниями, S-функция истояников, пропорциональная энергии, излучаемой на частоте x, деленной на  $\Phi(x)$ . К уравнениям (17)необходимо добавить начальные условия для l (если только  $t_2 \neq 0$ ) и для S (кроме случая  $t_1 = 0$ ).

Как известно (см., например, [14]), применение преобразования Лапласа по времени к нестационарным уравнениям переноса сводит их к сгационарным, в которых  $\lambda$  эзменено на  $\lambda/(1 + st_1)$  и  $\beta$  на  $\beta + st_2$ где s — аргумент преобразования. Легко убедиться, что и (17) сводится к (1) с теми же заменами, причем источниковый член оказывается равным  $[t_2I + t_1\Phi(x)S/(1 + st_1)]_{t=0}$ . Следовательно, нужно, воспользовавшись решениями стационарных задач, обратить преобразование Лапласа.

В случае ППЧ решение (17) получено при  $\lambda = 1$ ,  $\beta = 0$ ,  $t_1 = 0$  и доплеровском профиле поглощения в [15], а при любых профилях,  $\lambda < 1$ ,  $\beta$ ,  $t_1$  и  $t_2 - B$  [16]. Заметим, что при  $t_2 = 0$ ,  $t_1 = 1$ ,  $\beta = 0$ ,  $\lambda = 1$  и начальном условии  $I(x, x_1, 0) = S = \delta(x - x_1)/\Phi(x_1)$  решение имеет вид (здесь, как и в (2),  $\Phi(x)$  – произвольно)

$$I(x, x_1, t) = \delta(x - x_1) e^{-t} \Phi(x) + 1 - e^{-t}.$$
 (18)

При ЧПЧ решение, как и стационарное, удается получить также при ФП вида (4) в двух крайних случаях:  $\lambda = 1$ ,  $t_1 = 0$  и  $\beta = 0$ ,  $t_2 = 0$ .

## 5. Нестационарные решения при ЧПЧ.

а) Случай  $\lambda = 1$ ,  $t_1 = 0$ . Не ограничивая общности можно считать, что  $t_2 = 1$ , а  $\beta = 0$ . Для отличного от нуля  $\beta$  решение получается домножением решения, соответствующего  $\beta = 0$ , на  $e^{-\beta t}$ . Из (5) при начальном условии  $I(x, x_1, 0) = \delta(x - x_1)$  легко вывести

$$I(x, x_1, t) = \delta(x - x_1) e^{-t\Phi(x_1)} + t \int_{\frac{1}{2}}^{\infty} \Phi(y) e^{-t\Phi(y)} dy.$$
(19)

Это решение было найдено Филдом [7]. Хотя он считал, что  $x_1 = 0$ , но и в случае произвольных  $x_1$  решение получается так же.

6) Случай  $t_2 = 0$ ,  $\beta = 0$ . Здесь тоже можно положить  $t_1 = 1$ ,  $\lambda = 1$ . Если  $\lambda < 1$ , то (см. [17] или [14]) в решении при  $\lambda = 1$  надо заменить t на  $\lambda t$  и умножить результат на  $\lambda e^{-(1-\lambda)t}$ . Хотя в принципе можно выписать решение при любом  $x_1$ , мы ограничимся случаем  $x_1 = 0$ , то есть начальным условием  $I(x, 0, 0) = S = \pi^{1/2} \delta(x)$ . Исходя из (9) и пользуясь формулами 5.5 (31, 35) из таблиц [18], получим

612

$$I(x, 0, t) = \pi^{1/2} \delta(x) e^{-t} +$$

$$(t/2)^{1/2} e^{-t} \int_{0}^{\infty} \exp\left[-x^{2/}(e^{y}-1)\right] dy I_{1}((2ty)^{1/2}) [y (e^{y}-1)]^{-1/2}.$$
(20)

Решение для любого х, легко получить из (14). Оно имеет вид

$$I(x, x_1, t) = \sum_{n=0}^{\infty} H_{2n}(x) H_{2n}(x_1) \exp\left[-\frac{2nt}{(2n+1)}\right]/2n^{2n}(2n)! \quad (21)$$

Решение (20), как и (18), нормировано таким образом, что

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(x) I(x, x_1, t) dx = 1.$$
 (22)

Методом перевала из (20) можно получить, что при  $\ln x \gg 1$  и  $\ln x \gg t$ 

$$I(x, 0, t) \sim (\pi t/\ln x)^{1/2} e^{-t} I_1 \left( 2 \left( t \ln x \right)^{1/2} \right) / 2x.$$
 (23)

В противоположном случае  $t \gg 1$ ,  $t \gg \ln x$  интенсивность достигает своего асимптотического значения, как и у (18), равного 1. Линия имеет бесконечно узкий пик в центре, сила которого убывает со временем экспоненциально. Этот пик накладывается на плато высоты 1, простирающееся до частот  $x \sim e^t$ . В более далеком крыле интенсивность убывает с частотой и растет со временем согласно (23). В случае же ППЧ интенсивность (18) вне пика вообще не зависит от частоты.

Так же себя ведет решение задачи, получающееся при условии, что интенсивность имеет добразную особенность по t. Интенсивность при любом t в этом случае равна сумме (20) и производной от нее по t. При дифференцировании следует учесть, что в точке t = 0 функция (20) имеет скачок. В результате получится

$$I(x, 0, t) = \pi^{1/2} \delta(x) \delta(t) + \frac{1}{2} e^{-t} \int_{0}^{\infty} \exp\left[-\frac{x^{2}}{e^{y}-1}\right] \frac{dy}{(e^{y}-1)^{1/2}} I_{0}((2yt)^{1/2}).$$
(24)

При  $t \gg \ln x$  выражение (24) близко к 1, как и (20). Асимптотика же (24) при  $x \gg c^t$  получается из (23) или непосредственно из (24) и имеет вид

$$I(x, 0, t) \sim \pi^{1/2} e^{-t} I_0 (2 (t \ln x)^{1/2})/2x.$$
 (25)

8-1019

Асимптотики функций (20) и (24) можно получить и из асимптотик стационарного решения (15), в частности из (16), путем обращения преобразования Лапласа. Результаты получаются те же. В случае ППЧ соогветствующая (24) интенсивность равна внеинтегральному слагаемому (24) плюс 1.

Таким образом, качественное поведение полученных решений при ЧПЧ с ФП (4) очень близко к поведению их при ППЧ. Различия наблюдаются только в очень далеком крыле. Вывод о близости рассеяния с ФП (4) и при ППЧ был сделан еще в [8].

Ленинградский государственный университет

## EXACT SOLUTIONS OF EQUATION OF TRANSFER OF LINE RADIATION WITH PARTIAL FREQUENCY REDISTRIBUTION

#### D. I. NAGIRNER

Multiple scattering of radiation in Doppler broadened spectral line in infinite medium is considered. The primary sources of radiation are assumed to be space-independent and isotropic. Continuum absorption is neglected. The exact expression is found for the intensity of radiation, frequency dependence of the power of primary sources is arbitrary. The intensity is also obtained for the case of time dependent primary sources assuming that the velocity of light Is infinite. The time  $(t \rightarrow \infty)$  and frequency (line wings) asymptotic behaviour of the intensity is also studied.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Д. Михалас, Эвездные атмосферы, Мир. М., 1982.
- N. B. Yengibarian, A. G. Nikoghosslan, J. Quant. Spectroscop. Radiat. Transfer, 13, 787, 1973.
- 3. A. G. Nikoghossian, H. A. Haruthunian, Astrophys. Space Sci., 64, 269, 1979.
- 4. М. М. Баско, ЖЭТФ, 75, 1278, 1978.
- 5. H, Frisch, Astron. Astrophys., 83, 166, 1980
- 6. H. Frisch, Astron. Astrophys., 87, 357, 1980.
- 7. G. B. Field, Ap. J., 129, 551, 1959.
- 8. В. В. Соболев, Перенос лучистой энергии в атмосферах эвезд и планет, ГИТТЛ, М., 1956.
- 9. Н. Б. Енгибарян, А. Г. Никогосян, Астрофизика, 9, 79, 1973.
- H. A. Haruthunian, A. G. Nikoghossian, J. Quant. Spectroscop. Radiat. Transfer, 19, 135, 1978.

- И. С. Градштейн, И. М. Рыжик, Таблицы интегралов, сумм. рядов и произведений, Науха, М., 1971.
- 12. W. Unno, Ap. J., 129, 388, 1959.
- 13. D. G. Hummer, M.N.R.A.S., 125, 21, 1962.
- 14. Д. И. Назирнер, Астрофизика, 10, 446, 1974.
- 15. V. V. /vanov, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 19, 192, 1967.
- 16. Д. И. Нагирнер, Вестн. ЛГУ, № 7, 138, 1977.
- 17. Д. И. Нагирнер, Астрофизика, 5, 31, 1969.
- 18. Г. Бейтмен, А. Эрлейи, Таблицы интегральных преобразований, т. 1, Наука, М., 1969.

1.1

# АСТРОФИЗИКА

## **TOM 18**

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.57

## ПЛАНКОВСКИЕ СРЕДНИЕ СЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ПЫЛИНОК. I

## Н. В. ВОЩИННИКОВ, В. Б. ИЛЬИН Поступила 20 апреля 1982

Принята к печати 27 июля 1982

Получены выражения для факторов эффективности лучевого давления для бесконечных круговых цилиндров. Проведены расчеты планковских средних сечений лучевого давления для статически ориентированных цилиндрических пылинок, состоящих из графита, чистого и загрязненного железа, льда, силикатов (обсидиан и базальт) и карбида кремния. Рассматривались частицы с радиусами от 0.001 до 1 мкм и четыре значения эффективной температуры: 3300, 5770, 15500 и 40000 К. Обсуждается зависимость планковских средних сечений от температуры, размера пылинок и направления падающего излучения; для металлических частиц эти сечения зависят от состояния поляризации падающего излучения.

1. Введение Движение пылевых частиц под действием анизотропного потока излучения является важной частью многих астрофизических задач. Лучевое давление Солнца определяет динамические процессы в межпланетной среде, влияя на ориентацию хвостов комет, орбиты микрометеоров и распределение частиц в зодиакальном облаке [1, 2]. Давлением излучения звезд выметаются пылинки из диффузных и отражательных туманностей [1, 3]. Пылевые частицы, ускоряемые излучением красных гигантов и сверхгигантов, увлекают за собой в межзвездное пространство газ [4]. В межоблачной среде такие пылинки могут дополнительно ускоряться излучением звезд и эффективно нагревать газ в межзвездных облаках [5]. Селективное действие силы лучевого давления на пылевые частицы разных размеров способствует их росту в межзвездной среде при столкновениях друг с другом [6]. Наконец, интегральным излучением звезд галактического диска пылинки выметаются во внешние части Галактики [7].

Является общепризнанным, что в межзвездной среде присутствуют несферические частицы. Такие частицы неоднократно использовались для интерпретации поляризационных наблюдений зодиакального света, комег, звезд поздних спектральных классов [1, 8]. Однако до сих пор рассматривалось движение лишь сферических пылинок. Это связано, во-первых, с отсутствием расчетов сечений лучевого давления для несферических частиц (лишь недавно Кохэном и Альпертом [9] вычислены относительные факторы лучевого давления для бесконечных круговых цилиндров для одного случая поляризации падающего излучения) и, во-вторых, с тем, что уравнения движения сферических частиц легче решаются. Существенно, что для несферических частиц величина силы лучевого давления зависит как от направленя, так и от состояния поляризации падающего излучения, а ее направление в общем случае не совпадает с направлением падающего луча.

В данной работе приведены выражения для факторов эффективности лучевого давления для излучения произвольной поляризации, падающего на бесконечный круговой цилиндр, и результаты расчетов планковских средних сечений лучевого давления для статически ориентированных цилиндрических пылинок, состоящих из различных материалов. Результаты аналогичных расчетов для динамически ориентированных цилиндрических частиц изложены в следующей статье.

Несомненно, считать межзвездные пылинки бесконечными цилиндрами нереалистично, однако в работе [,10] указано, что различия между излучением, рассеянным конечным и бесконечным цилиндром становятся малыми, если длина цилиндра превосходит его радиус в четыре раза и более. Отметим, что некоторые расчеты планковских средних сечений лучевого давления для сферических пылинок были проведены в работах [6, 11].

2. Факторы эффективности лучевого давления. Рассмотрим невращающийся бесконечный круговой цилиндр раднуса а, на который падает излучение с длиной волны , причем направление падающего излучения составляет угол  $\pi/2 - \alpha$  с осью цилиндра. Факторы эффективности лучевого давления для случаев, когда ось цилиндра параллельна электрическому (E) и магнитному (H) вектору падающего излучения, определяются выражением

$$Q_{\rm pr}^{E, H} = Q_{\rm ext}^{E, H} - \left\langle \cos\theta \right\rangle_{E, H} Q_{\rm sca}^{E, H}.$$
 (1)

где  $Q_{\text{вса}} - \phi_{\text{актор}} \Rightarrow \phi_{\phi}$ ективности ослабления и рассеяния. Произведение  $\cos \theta > Q_{\text{sca}}$  пропорционально части импульса, возвращаемой рассеянным излучением; выражение для него можно получить интегрированием по  $\theta$  квадратов амплитудных функций рассеяния, умноженных на  $\cos \theta$  ( $\theta$  — угол, отсчитываемый в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра [12]). С учетом известных формул для  $Q_{\text{sca}}^{\text{с. H}}$  [13], имеем

$$Q_{\rm pr}^E = \frac{2}{x} \operatorname{Re} \left\{ b_0^E + 2\sum_{n=1}^{\infty} b_n^E \right\} - \frac{4}{x} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} b_n^E (b_{n-1}^E)^* + \sum_{n=2}^{\infty} a_n^E (a_{n-1}^E)^* \right\}, \quad (2)$$

$$Q_{pr}^{H} = \frac{2}{x} \operatorname{Re} \left\{ a_{0}^{H} + 2\sum_{n=1}^{\infty} a_{n}^{H} \right\} - \frac{4}{x} \sum_{n=2}^{\infty} b_{n}^{H} (b_{n-1}^{H})^{*} + \sum_{n=1}^{\infty} a_{n}^{H} (a_{n-1}^{H})^{*} \right\}, \quad (3)$$

где  $x = 2\pi a/\lambda$ , а звездочка означает комплексное сопряжение. Коэффициенты  $a_n^E$ ,  $b_n^E$ ,  $a_n^H$ ,  $b_n^H$  определяют внешнее поле излучения и зависят от x,  $\alpha$  и m = n - ki — показателя преломления вещества цилиндра, причем  $b_n^H = -a_n^E$ . Выражения для этих коэффициентов через функции Бесселя первого рода целого порядка (действительного и комплексного аргументов)  $J_n(z)$  и функции Ханкеля второго рода (действительного аргумента)  $H_n(z)$  и их производные получены в работе Линда и Гринберга [13].

В рэлеевском приближении ( $x \ll 1$ ,  $|m^2 - \sin^2 \alpha|^{1/2} x \ll 1$ ), учитывая асимптотическое поведение функций  $\int_n (z)$  и  $H_n(z)$  и их производных при малых значениях z, получим

$$Q_{pr}^{E} = -\frac{\pi x}{2} \ln (m^{2} - 1) \cos^{2} \alpha - \pi x \ln \left(\frac{m^{2} - 1}{m^{2} + 1}\right) \sin^{2} \alpha + \frac{\pi^{2} x^{3}}{8} |m^{2} - 1|^{2} \cos^{1} \alpha + \frac{\pi^{2} x^{3}}{4} \left|\frac{m^{2} - 1}{m^{2} + 1}\right|^{2} \sin^{2} \alpha (1 + \sin^{2} \alpha) -$$
(4)
$$-\frac{\pi^{2} x^{3}}{4} \operatorname{Re}\left(\frac{(m^{2} - 1)^{2}}{m^{2} + 1}\right) \sin^{2} \alpha \cos^{2} \alpha,$$
(4)
$$Q_{pr}^{H} = -\pi x \ln \left(\frac{m^{2} - 1}{m^{2} + 1}\right) + \frac{\pi^{2} x^{3}}{4} \left|\frac{m^{2} - 1}{m^{2} + 1}\right|^{2} (1 + \sin^{2} \alpha).$$
(5)

Первые два слагаемых в формуле (4) и первый член в формуле (5) являются приближенными выражениями для  $Q_{abs}^{E}$  и  $Q_{bs}^{H}$ , следующие два слагаемых в (4) и второй член в (5) — для  $Q_{sca}^{E}$  и  $Q_{sca}^{H}$  соответственно. Последнее слагаемое в (4) представляет собой выражение для  $\langle \cos \theta \rangle_{E} \cdot Q_{sca}^{E}$  в рэлеевском приближении.

В работе [9] показано, что для непоглощающих цилиндров при  $\alpha \neq 0^{\circ}$  сила лучевого давления направлена перпендикулярно оси цилиндра, а не вдоль падающего луча. Для поглощающих частиц сила лучевого давления имеет две составляющие, одна из которых пропорциональна фактору эффективности поглощения  $Q_{ab}$  и направлена вдоль падающего луча, а другая пропорциональна  $(1 - \langle \cos \theta \rangle) Q_{sca}$  и направлена перпендикулярно оси цилиндра. Для практических целей важно знать компоненты силы лучевого давления, направленные параллельно и перпендикулярно падающему излучению. Эти компоненты выражаются через факторы эффективности лучевого давления  $Q_{pr}^{E, H}$  и  $Q_{pr}^{E, H}$ , причем

618

ПЛАНКОВСКИЕ СРЕДНИЕ СЕЧЕНИЯ. І 619

$$Q_{pr1}^{E, H} = Q_{abs}^{E, H} + (1 - \langle \cos \theta \rangle_{E, H}) Q_{sca}^{E, H} \cos \alpha, \qquad (6)$$

$$Q_{\text{pr 2}}^{E, H} = (1 - \langle \cos \theta \rangle_{E, H}) Q_{\text{sea}}^{E, H} \sin \alpha.$$
(7)

Не сомневаясь в важности трансверсального компонента силы лучевого давления для некоторых астрофизических задач, в дальнейшем мы ограничимся рассмотрением радиального компонента, пропорционального фактору  $Q_{\text{pr}\ 1}^{E,\ H}(x,\ \alpha,\ m(\lambda))$ .

3. Планковские средние сечения. Выражения для планковских средних сечений лучевого давления для сильно вытянутых цилиндрических частиц записываются следующим образом:

$$\overline{C}_{pr}^{E, H}(a, \alpha, T) = G \overline{Q}_{pr}^{E, H}(a, \alpha, T), \qquad (8)$$

тде G — геометрическое поперечное сечение, a

$$\overline{Q}_{pr}^{E, H}(a, a, T) := \frac{15}{\pi^4} \int_0^\infty Q_{pr1}^{E, H} \left( \frac{2\pi a k T y}{hc}, a, m\left(\frac{hc}{kT y}\right) \right) \frac{y^3}{e^y - 1} dy \qquad (9)$$

— нормированные планковские средние факторы эффективности лучевого давления. Здесь T—температура, y = hc/k T i, c—скорость света, h и k постоянные Планка и Больцмана. Интегрирование в (9) проводилось методом Ньютона—Котеса восьмого порядка [14]; промежуток интегрирования по y выбирался от 0 до 20. Относительная погрешность при нахождении интеграла составляла 10<sup>-5</sup>. При |m| x < 0.05 факторы эффективности лучевого давления вычислялись по приближенным рэлеевским формулам; в остальных случаях расчеты велись по точным формулам.

4. Оптические постоянные. При изучении межзвездной и межпланетной пыли обычно рассматривают частицы различного химического состава. Считается, что в атмосферах холодных гигантов и сверхгигантов, богатых кислородом, конденсируются силикатные и железные частицы, а в атмосферах углеродных звезд — частицы из графита и карбида кремния (SiC) [15]. В межзвездной среде, по-видимому, присутствуют также и ледяные пылинки (или пылинки с тугоплавким ядром и ледяной оболочкой), на что указывают характерные полосы поглощения льда на  $\lambda$  3.1 и 45 мкм, найденные в спектрах ряда молекулярных облаков [16]. Источником ледяных частиц в межпланетной среде могут служить ядра комет. Кроме того, космические и наземные исследования околосолнечного пылевого облака и различных типов метеоритов указывают, что межпланетные пылипки могут состоять и из тугоплавких материалов, таких, как железо, графит, различные силикаты [1, 2]. Поэтому мы выбрали для расчетов частицыиз графита, льда, карбида кремния и два типа железных (Fe 1 и Fe 2) и силикатных (обсидиан и базальт) частиц.

По своим оптическим свойствам выбранные вещества разделяются на две группы: с металлическими (Fe 1, Fe 2, графит) и диэлектрическими (лед, обсидиан, базальт) свойствами. У металлов мнимая часть показателя преломления в видимой части спектра велика, а у диэлектриков — мала. Особое положение занимают частицы из SiC, имеющие большое n и k = 0. Сведения об источниках, из которых взяты данные о показателях преломления использованных веществ, приведены в табл. 1.

Два сорта железных частиц, рассмотренных нами, можно охарактеризовать как чистое (Fe 1) и загрязненное (Fe 2) железо. В первом случае сведения о показателях преломления основаны на экспериментальных данных для чистого железа, а во втором — рассчитаны для частиц с высоким содержанием металлов. Основное различие между чистым и загрязненным железом заключается в том, что в ближней ИК-области спектра мнимая часть показателя преломления для Fe 1 примерно в два раза больше, чем для Fe 2, то есть Fe 2 содержит более прозрачные материалы (например, силикаты).

Значение мнимой части показателя преломления льда было принято равным k = 0.01 при  $\lambda\lambda 0.17 - 2.7$  мкм, поскольку в ледяных пылинках могут присутствовать примеси (окислы и гидраты металлов и т. д.) [23].

Обсидиан и базальт представляют собой вулканические горные породы, по химическому составу более чем наполовину состоящие из Si O<sub>2</sub>. Базальт отличается более высоким содержанием окислов металлов  $Al_2O_3$ , FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO<sub>4</sub> и др. и поэтому большим значением мнимой части показателя преломления.

5. Результаты и обсуждение. Расчеты величин  $Q_{pr}^{\kappa,H}(a, \alpha, T)$  были проведены для цилиндрических частиц с раднусами от 0.001 до 1 мкм, шести значений  $\alpha = 0^{\circ}$  (15°) 75° и четырех температур 3300, 5770, 15500 и 40000 К. Эти значения являются эффективными температурами гиганта класса М 5 [31] и звезд главной последовательности спектральных классов G 2.5 (Солнце), В 5 и О 5 [32]. Последние две звезды выбраны в качестве примеров звезд, вызывающих свечение диффузных и отражательных туманностей.

Рассчитанные планковские средние сечения для диэлектрических частиц, как правило, намного меньше, чем для металлических, что объясняется более эффективным поглощением последними падающего излучения. Кроме того, оказалось, что поведение  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  для графита и Fe 2 очень похоже. Похоже также поведение  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  для силикатных и ледяных пылинок, причем сечения лучевого давления для частиц из базальта немного больше, а для ледяных частиц немного меньше, чем для частиц из обсидиана.

CBE,	дения об о	птически	Таблица Т Х ПОСТОЯННЫХ
Вещество	Δλ, мим	Литература	Примечания
Графит	0.005-0.3	[17]	
	0.36-10	[18]	
	10124	[19]	
	124-104		n = 6.988, k = 58.57
Желе зо-1	0.1-0.367		n = 1.95, k = 3.53
	0.367-0.629	[20]	
	0.75.0	]21]	and the second
	6.0-18	[22]	
	18-104		n-18.9, k=48.6
Желе зо-2	0.1-0.39		n = 1.12, k = 1.24
	0.39-1.0	[23]	
	1.0-104		$n = 2.45 \cdot \lambda^{1/2}, \ k = 2.45 \cdot \lambda^{1/2}$
Загрязненный	0.005-1.0	[23]	В области АЛ. 0.17-2.7 мкм
Yer	1.0-1.2	[24]	Принято k 001
	1.25-333	[25]	
	333-104	- Contra - C	n = 1.79, k = 0.024
Обсиднан	0.1-0.46	[26]	
	0.46-50	[27]	
	50-104		n=2.29, k=0.14
Базальт	0.1-0.46	[26]	
	0.46 - 50	[27]	
	50-104		n = 2.14, k = 0.071
Карбид	0.124-0.4	[28]	
кремния	0.4-40	[29]	В работе [29] приведены лишь
		-	значения л(л); для лл 10-
			чины k(/) из работы [30], в остальном диапизоне принято k 0
	40-104		n=3.11, k=0

На рис. 1 представлена зависимость  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  от  $\alpha$  для частиц из графита и обсидиана. Заметим, что при малых значениях и и T на значительной части промежутка интегрирования факторы эффективности лучевого давления вычисляются по рэлеевским формулам (6) и (7), которые и определяют зависимость величин  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  и  $\overline{Q}_{pr}^{H}$  от  $\alpha$ . При этом для металлов  $Q_{pr}^{E, H} \approx Q_{abs}^{E, H}$ , а для диэлектриков  $Q_{pr}^{E} \approx (1 - \langle \cos \theta \rangle_{E})$  $Q_{aca}^{E} \cos \alpha$  и  $Q_{ar1}^{H} \approx Q_{aca}^{H} \cdot \cos \alpha$ . При  $\alpha \rightarrow 90^{\circ} \overline{Q}_{pr}^{E} \approx \overline{Q}_{pr}^{H}$ , поскольку в рядах (2) и (3) доминирует член с n = 1 и  $a_{1}^{H} \approx b_{1}^{E}$  [13].



Рис. 1. Норчированные планковские факторы эффэхтивности лучевого давления  $\overline{Q}_{\rm pr}^E$  (сплошные линии) и  $\overline{Q}_{\rm pr}^H$  (штриховые линии) для цилиндрических пылинок с радиусом a=0.1 мкм (1-графитовые частицы, T=3300 K; 2-графитовые частицы, T=40000 K; 3-частицы из обсидиана, T=3300 K; 4-частицы из обсидиана, T=40000 K).

Для металлических частиц планковские средние факторы  $\overline{Q}_{pr}^{E}$  и  $\overline{Q}_{pr}^{H}$  совершенно по-разному зависят от *a* (рис. 2, 3), то есть сечения и сила лучевого давления обусловлены состоянием поляризации падающего излучения. При этом при малых значениях *a*, *T* и  $\alpha$   $\overline{Q}_{pr}^{E}$  оказывается намного больше, чем  $\overline{Q}_{pr}^{H}$ .

Общим свойством как металлов (рис. 3), так и диэлектриков (рис. 4) является то, что при увеличении температуры положение максимумов  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  смещается в сторону меньших а. Такая ситуация является естественной, поскольку, как следует из формулы (9), рост T эквивалентен в некотором смысле уменьшению а. Из рис. 3, 4 следует также, что вели-





Рис. 2. Нормированные планковские средние факторы вффективности лучевого дврления  $\overline{Q}_{pr}^{E}$  (сплошные линии) и  $\overline{Q}_{pr}^{H}$  (штриховые линии) для графитовых пылинок, T = 3300 К ( $1 - \alpha = 0^{\circ}, 2 - \alpha = 45^{\circ}, 3 - \alpha = 75^{\circ}$ ).

Рис. 3. То же, что на рис. 2, но для частиц из Fe 2,  $x = 0^{\circ}$  (1 – T = 3300 K, 2 – T = 5770 K, 3 – T = 15500 K, 4 – T = 40000 K).

ПЛАНКОВСКИЕ СРЕДНИЕ СЕЧЕНИЯ. І

чина максимумов  $\overline{Q}_{pr}^{E}$  для металлов убывает, а для диэлектриков растег с увеличением T. Это вызвано тем, что диэлектрики более эффективно поглощают излучение в ультрафиолете, а металлы — в видимой и ИК областях спектра.



Рис. 4 То же, что на рис. 3. но для частиц из базальта.

Отметим, что зависимости планковских средних факторов лучевого давления от а для частиц из Fe 1 аналогичны приведенным на рис. 3. однако максимумы несколько шире и выше, а их положение смещено в сторону меньших а.

Для частиц из карбида кремния величины  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  приведены в таблице 2 для T = 3300 К и на рис. 5 для T = 15500 К и  $\alpha = 0^{\circ}$ . На этом же рисунке нанесены зависимости  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  ( $\alpha$ ,  $0^{\circ}$ , 15500 К) для ледяных и графитовых пылинок. Из рис. 5 и сравнения табл. 2 с рис. 2 следует, что ход планковских средних факторов лучевого давления для частиц из SiC при малых значениях  $\alpha$  не отличается от таковых для металлов; при этом значения  $\overline{Q}_{pr}^{e}$  и  $\overline{Q}_{pr}^{H}$  сильно различаются, однако их зависимости от  $\alpha$  не являются столь гладкими, как для металлов (рис. 1). При больших значениях  $\alpha$  зависимости  $\overline{Q}_{pr}^{E,H}$  от a уже больше напоминают аналогичные зависимости для диэлектриков. Отметим также, что до T = 15500 К величина максимума  $\overline{Q}_{pr}^{e}$  растет, как у диэлектриков (это связано с появлением у показателя преломления НОРМИРОВАННЫЕ ПЛАНКОВСКИЕ СРЕДНИЕ ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛУЧЕВОГО ДАВЛЕНИЯ

5	<pre> <pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre></pre>												
α	<u> </u>		5° 30°		0°	45°		<u> </u>		75°			
<i>a</i> , mkm	$\overline{Q}_{pr}^E$	$\overline{Q}_{pr}^{H}$	$\overline{Q}^E_{pr}$	$\overline{Q}_{pr}^{H}$	$\overline{Q}_{pr}^E$	$\overline{Q}_{pr}^{H}$	$\overline{Q}^{\mathcal{E}}_{pr}$	$\overline{Q}^H_{pr}$	$\overline{Q}_{pr}^E$	$\overline{Q}_{pr}^O$	$\overline{Q}_{pr}^E$	Q <sup>H</sup> <sub>pr</sub>	
0.001	2.51-5	8.70-7	2.18-5	8.84-7	1.44-5	9.08-7	7.21-6	8.99-7	2.90-6	8.13-7	1.06-6	6.40-7	
0,005	2.07-3	6.01-5	1.71-3	6.20-5	9.48-4	6.53-5	3.22-4	6.44-5	6.98-5	5.38-5	2.79-5	3.19-5	
0.01	1.86-2	4.69-4	1.53-2	4.86-4	8.30-3	5.18-4	2.66-3	5.19-4	5.00-4	4.37-4	2.04-4	2.58-4	
0.05	1.50	5.14-2	1.33	5.86-2	9.08-1	7.70-2	4.19-1	9.72-2	1.16-1	1.05-1	7.10-2	8.11-2	
0.1	2.39	4.18-1	2.23	4.37-1	1.76	4.77-1	1.10	5.02-1	4.95-1	4.71-1	2.93-1	2.90 - 1	
0.2	2.06	1.19	1.94	1.15	1.62	1.04	1.14	8.67-1	5.99-1	6.24-1	3.00-1	2.96 - 1	
0.3	1.68	1.34	1.64	1.28	1.31	1.09	9.22-1	8.54-1	4.94-1	5.71-1	2.28 - 1	2.41-1	
0.5	1.30	1.25	1.21	1.15	9.84-1	1.00	6.81-1	7.58-1	3.42-1	4.80-1	1.54-1	1.81-1	
1.0	1.01	1.07	9.42-1	1.02	7.60-1	8.74-1	4.94-1	6.61-1	2.48-1	4.06-1	9.62-2	1.41-1	

 $\overline{Q}_{pr}^{E}$  и  $\overline{Q}_{pr}^{H}$ для пылинок из карбида кремния. T = 3300 к

625

-

отличной от нуля мнимой части при  $\lambda < m \kappa m$ ), а при  $T = 40000 \, {\rm K}$  становится меньше.



Ряс. 5. Нормированные планковские средние факторы вффективности лучевого давления  $\overline{Q}_{pr}^{E}$  (сплошные линви) и  $\overline{Q}_{pr}^{H}$  (штриховые линии) для цилиндрических пылинок, T = 15500 К,  $a = 0^{\circ}$  (1 — графитовые частицы; 2 — ледяные частицы; 3 — частицы из SiC).

6. Заключение. Основные результаты работы можно резюмировать следующим образом:

 а) Получены точные и приближенные выражения для факторов эффективности лучевого давления для бесконечных круговых цилиндров.

6) Проведены расчеты планковских средних сечений лучевого Давления для статически ориентированных цилиндрических пылинок с радиусами от 0.001 до 1 мкм, состоящих из графита, чистого (Fe 1) и загрязненного (Fe 2) железа, льда, силикатов (обсидиан и базальт) и карбида кремния, для четырех значений температуры: 3300, 5770, 15500 и 40000 К.

в) Для частиц с металлическими свойствами (Fe 1, Fe 2, графит) планковские средние сечения лучевого давления сильно зависят от состояния поляризации падающего излучения. Для диэлектриков (лед, обсидиан, базальт) планковские средние сечения лучевого давления увеличиваются с ростом температуры, но, как правило, остаются меньшими, чем для металлов. Частицы из карбида кремния проявляют металлические свойства в тех случаях, когда излучение падает почти перпендикулярно к оси цилиндра, и диэлектрические — когда угол между направлением падающего излучения и осью цилиндра мал.

Ленинградский государственный университет

## PLANCK MEAN CROSS SECTIONS FOR RADIATION PRESSURE FOR NONSPHERICAL GRAINS. I

#### N. V. VOSHCHINNIKOV. V. B. IL'IN

Expressions for efficiency factors for radiation pressure for infinite circular cylinders are presented. Planck mean cross sections for radiative pressure have been computed for static oriented cylindrical grains composed of graphite, pure and dirty iron, ice, silicates (obsidian and basalt) and silicon carbide. The cylindrical grains radii range from 0.001 to 1 um and the effective temperatures are used 3300, 5770, 15500 and 40000 K. Dependence of these mean cross sections from the temperature, the grain size and the direction of the incident radiaton are discussed. It is found that for metallic particles Planck mean cross sections for radiation pressure depend on the state of polarization of the incident radiation.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. P. G. Martin, Cosmic Dust, Oxford University Press, 1978.
- 2. J. A. Burns, P. L. Lamy, S. Soter, Icarus, 40, 1, 1979.
- 3. W. G. Mathews, Ap. J., 147, 965, 1967,
- 4. S. Kwok, Ap. J., 198, 583. 1975.
- 5. S. P. Tarafdar, N. C. Wickramasinghe, Astrophys. Space Sci., 39, 19, 1976.
- 6. I. C. Simpson, S. Simons, I. P. Williams, Astrophys. Space Sci., 71, 3, 1980.
- 7. H. E. Frohlich, A. N., 302, 15, 1981.
- 8. А. Э. Долгинов, Ю. Н. Гнедин, Н. А. Силантьев, Распространение и поляризация излучения в космической среде, Наука, М., 1979.
- 9. A. Cohen, P. Alpert, Appl. Opt., 19, 558, 1980.
- 10. N. C. Wickramasinghe, Light Scattering Functions for Small Particles with Aplications in Astronomy, Hilger, London, 1973.
- 11. R. C. Gilman, Ap. J., Suppl. ser., 28, 397, 1974.
- 12. M. Kerker, The Scattering of Light and Other Electromagnetic Radiation, Academic Press, 1969.
- 13. A. C. Lind, J. M. Greenberg, J. Appl. Phys., 37, 3195, 1966.

- 14. Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер, Машинные методы математических вычислений, Мир. М., 1980.
- 15. E. E. Salpeter, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 15, 267, 1977.
- 16. D. K. Kttken, IAU Symp., 96, 207, 1981.
- 17. S. Isobe, Ann. Tokyo Astron. Obs., 2nd Ser., 12, 263, 1971.
- J. Bergest, J. Lefevre, R. Kandel, M. Lunel, F. Stbille, Astron. Astrophys., 52, 245, 1976.
- 19. S. Aiello, F. Mencaraglia, Astrophys. Space Sci., 51, 111, 1977,
- 20. H. T. Yolhen, J. Kruger, J. Opt. Soc. Amer., 55, 842, 1965.
- 21. И. Е. Лексина, Н. В. Пенкина, Физ. металлов и мсталловедение, 23, 344, 1967.
- 22. A. P. Lenham, D. M. Treherne, J. Opt Soc. Amer., 56, 1137, 1966.
- 23. Дж. М. Гринберг. Межзвездная пыль, Мир. М., 1970.
- 24. W. M. Irvine, J. B. Pollack, Icarus, 8, 324, 1968,
- 25. J. E. Bertie, H. J. Labbe, E. Whalley, J. Chem. Phys., 50, 4501, 1969.
- 26. P. L. Lamy, Icarus, 34, 63, 1978.
- 27. J. B. Pollack, O. B. Toon, B. N. Khare, Icarus, 19, 372, 1973.
- H. R. Philipp, E. A. Taft, Silicon Carbide, eds. J. R. O'Konnor, J. Smiltons, Pergamon Press, 1960, p. 366.
- 29. А. Н. Пихтин, В. Т. Прокопенко, В. С. Рондарев, А. Д. Яськов, Оптика и спектроскопия, 43, 711, 1977.
- 30. W. G. Spitzer, D. Kleinman, D. Walsh, Phys. Rev., 113, 217, 1959.
- 31. T. Tsuji, Astron. Astrophys., 99, 48, 1981.
- 32. К. У. Аллен, Астрофизические величины, Мир. М., 1977.

## АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

ВЫПУСК 4

УДК 524.52—36

# СТОЛКНОВЕНИЯ МАССИВНЫХ ГАЗОВЫХ ОБЛАКОВ С ПЕРВИЧНЫМ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

А. А. СУЧКОВ, Ю. А. ЩЕКИНОВ, М. А. ЭДЕЛЬМАН Поступила 22 июля 1981 Принята к печати 27 июля 1982

Рассматривается термохимическая эволюция вещества с первичным химическим составом при столкновениях газовых облаков со скоростями 40—200 км/с; массы облаков  $M = 10^6 \div 10^9 M_{\odot}$ . Найдены изменения со временем температуры, степени ионизации и концентрации молекул H<sub>2</sub> и HD за фронтом ударной волны. Показано, что молекулы H<sub>2</sub> и HD образуются в значительном количестве; они обеспечивают охлаждение газа до температур  $T \sim 10 - 30$  К. Результаты обсуждаются в связи с проблемой звездообразования на ранних стадиях формирования галактик.

1. Введение. Существует убежденность, что эффективным механизмом звездообразования может быть столкновение газовых облаков. Тинсли и Ларсон, например, построили модель эволюции эллиптических галактик, в которой этот механизм является определяющим [1]. Однако, как это ни парадоксально, последовательный количественный анализ самого процесса столкновения и сопровождающего его звездообразования до сих пор не был сделан, и идея об усиленном рождении звезд в этом процессе была основана только на общих соображениях о том, что за фронтом столкновительной ударной волны происходит сильное сжатие и быстрое охлаждение газа, т. е. возникают условия для гравитационной фрагментации на малые, предположительно звездные, массы. На самом деле эта схема упускает из виду ряд принципиальных факторов. Как показал Стоун [2, 3], условия гравитационной неустойчивости практически не меняются в результате столкновения; в итоге он пришел к заключению, что этот процесс вообще не влияет на звездообразование. Но в работе [4] было обращено внимание на то, что в сжатом ударной волной слое развивается неустойчивость типа неустойчивости Рэлея-Тейлора, рассмотренная Элмегринами [5]. С учетом этого обстоятельства рождение звезд оказывается возможным, причем только в ограниченном интервале масс, зависящем от скорости столкновения, массы облаков, их химического состава и интенсивности космических лучей или рентгеновского излучения, нагревающих газ [4]. В 9 - 1019

аналогичном контексте задачу о столкновениях облаков рассмотрел Смит [6]. Он также пришел к выводу о возможности рождения звезд при столкновениях в некотором ограниченном интервале чисел Maxa.

В работах [4, 6] задача о столкновении была рассмотрена применительно к современным условиям в Галактике (с включением случая, когда содержание тяжелых элементов на два порядка меньше современного [4]). В настоящей работе мы анализируем столкновения облаков с первичным (космологическим) химическим составом. Рассматриваются облака с массами  $M_c = 10^8 + 10^9 M_{\odot}$  и скорости столкновения  $V_{st} = 40 + 200$  км/с. Такие параметры могут быть характерны для протогалактики и для газовых облаков в протоскоплениях галактик. Эти условия близки к тем, которые предполагаются в [1].

Заметим, что рассмотренную ниже задачу вовсе не обязательно связывать именно с облаками; она может описывать взаимодействие турбулентных сверхзвуковых потоков и иметь отношение к звездообразованию в протогалактике со сверхзвуковой турбулентностью.

2. Постановка задачи. Динамика столкновения. Для простоты будем рассматривать два одинаковых облака с однородным распределением плотности. При их столкновении от контактной плоскости в обе стороны идег ударная волна, за фронтом которой газ нагревается до высоких температур,  $T \sim m v_{st}^2/k$ , где m — масса атома водорода,  $v_{st}$  — скорость облака в системе центра масс, k — постоянная Больцмана. Через время  $\tau_0 \leq 10^4$  лет газ охлаждается до  $T \sim 10^4$  К, так что время поперечного расширения сжатого ударной волной газа составляет  $t_\perp \geq D_c/(10 \text{ км/c})$ , где  $D_c$  — характерный размер облака. Время столкновения имеет порядок  $t_{st} \sim D_c/v_{st}$ . Рассматривая скорости  $v_{st} > 10 \text{ км/c}$ , имеем  $t_{st} > 0.1 \text{ пк}$  (или  $M_c \gg 10^{-5} n_0 M_{(5)}$ ) мы можем пренебречь поперечным движением в сжатом слое и решать только одномерную задачу.

Течение газа за фронтом ударной волны можно считать квазистационарным, поскольку характерное время установления движений в сжатом слое  $t_r \sim h/v_s$ , где h — толщина слоя, v — скорость звука в нем, меньше времени столкновения облаков . Действительно,  $h \leq D_{cl'o}/\rho_s$ . где  $\rho_0$ ,  $\rho$  — плотность до столкновения и после;  $v_s \sim v_{st} (T/T_{ps})^{1/2}$ ,  $\rho \sim 4\rho_0 T_{ps}/T$ ,  $T_{ps}$ , T — температура газа непосредственно за фронтом ударной волны и вдали от него, индекс "ps" относится к параметрам сразу за фронтом ударной волны. Подставляя это в выражение для  $t_r$ , получим  $t_r \leq (1/4) t_r (T/T_{ps})^{1/2}$ . Это обстоятельство упрощает решение задачи. Так как скорость направленного движения газа  $v_{st}$  мала по сравиению с тепловой скоростью электронов, температура электронного газа  $T_{\epsilon}$  сразу за фронтом ударной волны увеличивается незначительно (приблизительно в — 2.5 раза) и  $T_{\epsilon}$  будет меньше температуры ионов  $T_{t}$  [7] (см. также [8]). По мере погружения лагранжева элемента в сжатый слой электронный газ нагревается ионами. Одновременно часть тепловой энеруни теряется при неупругих столкновениях электронов с тяжелыми частицами. Плотность в лагранжевом элементе  $\psi$  и его скорость  $\upsilon$  (относительно фронта волны) определяются из уравнений сохранений массы  $\rho v = \text{const}$  и импульса  $p + \rho v^2 = \text{const}$ . Учитывая, что во всех рассмотренных намн случаях количество дважды ионизованного гелия оказывается пренебрежимо малым, мы можем положить  $n_{\rm H} + n_{\rm He} =$  $= 0.1 (n_{\rm H} - n_p)$ . Подставляя теперь в качестве p сумму парциальных давлений электронного и ионного газов:  $p = kn[(x - 0.1y) T_{\epsilon} + 1.1 T_{i}]$ и исключая из этих уравнений v, получим:

$$\rho = \frac{8}{3} \rho_0 \frac{\left[(x+0.1 \ y) \ T_e + 1.1 \ T_i\right]_{\rho_s}}{(x+0.1 \ y) \ T_e + 1.1 \ T_i} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{3}{4} \frac{(x+0.1 \ y) \ T_e + 1.1 \ T_i}{[(x+0.1 \ y) \ T_e + 1.1 \ T_i}}}\right],$$
(1)

после чего скорость находится из уравнения сохранения массы:

$$v = -\frac{4}{3} \frac{\rho_0}{\rho} v_{*i}, \qquad (2)$$

где  $x = n_P/(n_H + n_P)$  — степень ионизации водорода,  $n_P$  — плотность протонов,  $n_H$  — плотность нейтральных атомов водорода,  $n = n_H + n_P$ ,  $y = n_{He^+}/(n_{He} + n_{He^+})$  — степень ионизации гелия,  $n_{He^+}$  — плотность однократно ионизованного гелия,  $n_{He}$  — плотность нейтральных атомов гелия.

При охлаждении газа в сжатом слое скорость фронта уменьшается практически до нуля. Начиная с этого момента ( $t \gtrsim \tau_0$ ) вместо уравнения (2) следует использовать уравнение

$$v = \frac{\rho_0}{\rho} v_{st}.$$
 (3)

К уравнениям (1), (2), (3) нужно добавить уравнения энергообмена и химической кинетики.
#### А. А. СУЧКОВ И ДР.

При анализе столкновения облаков в протогалактике ролью гравитации можно пренебречь. Действительно, отношение кинетической энергии сталкивающихся облаков к их гравитационной энергии равно

$$\delta \sim \frac{M_{\rm e} v_{\rm st}^2}{(GM_{\rm e}^2/D_{\rm e})} \sim \frac{\rho_{\rm e}}{G\sigma^2},$$

где  $p_e - динамическое давление натекающего на фронт волны газа,$  $<math>p_e = p_0 v_{st}^2$ , G — гравитационная постоянная,  $\sigma$  — поверхностная плотность массы. При  $\delta \ll 1$  структура сжатого волной слоя определяется гравитацией, при  $\delta \gg 1$  — давлением. Принимая для определенности  $\delta \ge 3$ , получим эквивалентное условие:

$$\frac{M_{\rm c}}{M_{\odot}} < 5 \cdot 10^9 \left(\frac{v_{st}}{100 \text{ km/c}}\right)^3 \left(\frac{n_0}{1 \text{ cm}^{-3}}\right)^{-1/2}$$
(4)

При  $v_{st} = 200$  км/с, что порядка вириальной скорости для облаков в протогалактике с массой  $M_g \sim 10^{21} M_{\odot}$  и  $n_0 \leqslant 10^3$  см<sup>-3</sup> условие (4) выполняется при  $M_c \ll 10^9 M_{\odot}$ .

Термохимическая эволюция. Уравнение энергообмена для электронов в лагранжевом элементе объема имеет вид:

$$\frac{dT_{e5}}{dt} = 8.52 \cdot 10^{-4} (T_{i5} - T_{e5}) [51 \ T_{e5}^{-3/2} x + (1 - x)] n - (L_1 + L_2) (1 - x) n - 1.2 \cdot 10^{-3} (59 - T_{e5}) \exp\left(-\frac{2.45}{T_{e5}}\right) (1 - y) n - (-0.15 \ T_{e5} \exp\left(-\frac{2.85}{T_{e5}}\right) (1 - y) n - 3 \cdot 10^{-7} (1.74 \ T_{e5}^{1/2} + 1.45 \ T_{e5}^{-1/2}) xn + \frac{2}{3} \ \frac{T_{e5}}{n} \ \frac{dn}{dt},$$
(5)

здесь  $T_5 = T/10^5$  К, время *t* измеряется в годах; первый член в правой части соответствует обмену энергией между электронами и тяжелыми частицами [7], во втором члене  $L_1(\text{см}^3/\text{год})$  — охлаждение, связанное с возбуждением электронами атомов водорода [9, 10],  $L_2(\text{см}^3/\text{год})$  — охлаждение, связанное с ионизацией водорода и последующим ускорением освободившегося электрона:

$$L_{1} = \begin{cases} 0.072 \ T_{e5} (28.7 - T_{e5}) \exp\left(-\frac{1.58}{T_{e5}}\right), & T_{e5} \ge 0.2 \\ 0.75 (1.05 + T_{e5}) \ T_{e5}^{1/2} \exp\left(-\frac{1.58}{T_{e5}}\right), & T_{e5} < 0.2. \end{cases}$$

**63**2

L<sub>2</sub> рассчитана на основе данных [9]; третий и четвертый члены в уравнении (5) описывают охлаждение, связанное с возбуждением и ионизацией атомарного гелия (по данным [9]); пятый — охлаждение при свободносвободных и свободно-связанных переходах [11].

Энергообмен тяжелых частиц описывается уравнением:

$$\frac{dT_{i5}}{dt} = -8.52 \cdot 10^{-4} \left( T_{i5} - T_{e5} \right) \left[ 51 \cdot T_{e5}^{-3/2} + (1-x) \right] xn + \frac{2}{3} \frac{T_{i5}}{n} \frac{dn}{dt}$$
(6)

Эдесь первый член соответствует обмену энергией с электронами, второй — натреву при адиабатическом сжатии. Потери энергии ионов при неупругих столкновениях несущественны.

Уравнения ионизационного баланса для водорода и гелия:

$$\frac{dx}{dt} = 0.75 T_{e5}^{1/2} \exp\left(-\frac{1.58}{T_{e5}}\right) x (1-y) n -$$

$$-1.2 \cdot 10^{-6} T_{e5}^{-1/2} (0.06 - 0.5 \ln T_{5e} + 0.4 T_{e5}^{1/3}) x^2 n, \tag{7}$$

$$\frac{dy}{dt} = 0.036 T_{e5}^{1/2} \exp\left(-\frac{2.85}{T_{e5}}\right) x \left(1-y\right) n - 1.4 \cdot 10^{-7} T_{e5}^{-1/2} xyn.$$
(8)

В уравнениях (7). (8) учтены ионизация атомов электронным ударом и радиативная рекомбинация на все уровни за исключением первого [9]. Вообще говоря, в уравнениях (6)—(8) необходимо было бы учитывать ионизацию водорода и гелия при атом-атомных столкновениях. Эти процессы могут давать заметный вклад в ионизационно-тепловой баланс непосредственно за фронтом, где  $T_e \ll T_i$  и  $x \le 10^{-4}$ . Однако отсутстбие надежных сечений этих процессов не позволяет произвести такой учет. Тем не менее, расчеты, проделанные нами для различных начальных значений х. указывают на слабую чувствительность термохимических свойств газа вдали за фронтом к изменениям х. Это дает нам основания считать что уравнения (6)—(8) адекватно описывают поведение газа на временах  $t > \tau_{ei}$ . где  $\tau_{ei}$ — время обмена энергией между электронами и ионами. К тому же в реальных ситуациях следует ожидать больших значений х, так как уже остаточная степень ионизации после отрыва излучения от вецества во Вселенной составляет х  $\sim 10^{-4}$ .

Начиная с температуры  $T \approx 9000$  К мы учитывали возможность образования молекул водорода. На этих стадиях электронная и ионная температуры становятся равными, а гелий оказывается практически нейтральным. Поэтому здесь свойства газа описываются уравнениями ионизации водорода (7) с  $T_e = T$ , уравнениями кинетики для молекулярного водорода и уравнением энергообмена с учетом высвечивания энергии в линиях  $H_{21}$  а также (при  $T \leq 200$  K) HD.

633

Содержание Н<sub>2</sub> определяется главным образом реакциями:

$$H + e \rightarrow H^- + h$$
 со скоростью  $\alpha_1$ ,  
 $H^- + H \rightarrow H_2 + e$  со скоростью  $\alpha_2$ ,  
 $H + H_2 \rightarrow 3H$  со скоростью  $\alpha_6$ ,

здесь обозначения те же, что и в [12]. За время  $t \sim (10^9/n)$  с устанавливается содержание иона H<sup>-</sup>, равное  $n_{H^-} = \alpha_1 n_e/\alpha_2$ . Учитывая это, уравнение для H<sub>2</sub> можно записать в виде

$$\frac{dx_{H_{\theta}}}{dt} = \alpha_1 n_{H} x - \alpha_{\theta} n_{H} x_{H_{\theta}}, \qquad (9)$$

где  $x_{II} = n_{H}/n$ , время в секундах.

При температуре T < 200 К основной вклад в охлаждение дают молекулы HD. Они образуются в обменных реакциях между H<sub>2</sub> и D или D. Времена установления равновесия в этих реакциях малы, поэтому, следуя [13], можно принять:

$$\frac{n_{\rm HD}}{n_{\rm H}} = 2 \frac{n_{\rm D}}{n_{\rm H}} \exp\left(\frac{465}{T}\right)^* \tag{10}$$

В расчетах мы принимали [D]/[H] =  $1.4 \cdot 10^{-5}$ . Здесь  $n_D$ ,  $n_H$  — плотности частиц атомарного дейтерия и водорода, [D]/[H] — отношение обилия D и H по числу частиц.

С учетом охлаждения молекулями H<sub>2</sub> и HD уравнение для температуры имеет вид:

$$\frac{dT_3}{dt} = -10^{-2} L_1 n (1-x) x - L_{\rm H_2} x_{\rm H_2} - L_{\rm HD} x_{\rm HD} + \frac{2}{3} \frac{T_3}{n} \frac{dn}{dt}, \quad (11)$$

где  $T_3 = T/10^3$  K,  $x_{\rm HD} = n_{\rm HD}/n$ , время в годах, функция  $L_{\rm H}$ , по данным [14—16], функция  $L_{\rm HD}$  взята из [13]. К уравнениям (7), (9), (11) необходимо еще добавить уравнение сохранения импульса:

$$n = \rho_0 v_{\rm ef}^2 [k T (1.1 - x_{\rm H} - x_{\rm HD})].$$

Фотодиссоциация молекул  $H_2$  и HD, а также ионов  $H^-$  излучением, поступающим из горячих областей вблизи ударного фронта, несущественна. Скорость фотодиссоциации  $H_2$  и  $H^-$  при  $v_{st} \sim 100$  км/с оказывается порядка 6  $10^{-11} c^{-1}$  и  $10^{-10} c^{-1}$  соответственно, в то же время скорости разрушения молекул  $H_2$  в процессе  $H + H_2 \rightarrow 3H$  и

иона Н в процессе H + H  $\rightarrow$  H<sub>2</sub> + е имеют порядок 2·10  $^{-11}nc^{-1}$  и  $10^{-1}nc^{-1}$ . Температура 7  $\sim$  10<sup>1</sup> К, при которой начинается образование молекул H<sub>2</sub>, достигается в рассматриваемых нами условнях при  $n = 10^3$  см<sup>-3</sup>. Поэтому разрушение H<sub>2</sub> и H излучением на несколько порядков менее эффективно, чем в столкновительных процессах.

В качестве начальных условий при решении системы (5)—(8) использовались условия непосредственно за фронтом ударной волны. Начальное значение ионной температуры  $T_{i0} = T_{ips}$  находилось из уравнения

$$[k (n_{\rm H} + n_{\rm He}) \ T_i + \rho v^2]_{\rho s} = \rho_0 v^2, \tag{12}$$

где  $p_0$ , v — плотность вещества и скорость перед фронтом волны, скорости приведены в системе, связанной с фронтом. Давлением электронного газа в лебой части (12) пренебрегалось из-за того, что сразу за фронтом  $T_e \ll T_i$ . Начальное значение электронной температуры  $T_{e0}$  находилось приравниванием правой части уравнения (5) нулю: такая температура устанавливается через время  $l \sim \tau_{el}$  [7].

Начальную степень понизации водорода  $x_0$  мы варьировали от  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$ , а  $y_0$  во всех вариантах полагали равным нулю. Были рассчитаны модели с исходной плотностью частиц в облаках  $n_0 = 1$ , 10,  $10^2$  и  $10^3$  см<sup>-3</sup> и скоростью в системе центра масс  $u_1 = 40$ , 60, 80, 100, 150, 200 км/с.

3. Результаты. Как уже отмечалось, сразу после пересечения ударного фронта лагранжевым элементом температура изнов  $T_t$  значительно превосходит электронную температуру  $T_e$ . Из-за того, что начальная плогность электронов  $n_e$  мала, ионы медленно теряют энергию, однако ее достаточно, чтобы заметно нагреть электроны. В результате  $T_e$  меняется быстрее, чем  $T_t$ . По мере увеличения  $n_e$  тепловой контакт между электронами и ионами усиливается и, начиная с  $x \sim 0.1$ ,  $T_t$  падает очень быстроза время порядка нескольких  $z_{ei}$ . При этом  $T_e$  быстро растет и достигает максимального значения, начиная с которого становятся важными потери энергии при неупругих столкновениях. Примерно в этот же момент электронная и ионная температуры выравниваются, а x и y достигают максимальной величины. Эта стадия детально описана в [7] для газа с современным химическим составом. На рис. 1 представлено решение уравнений (5)-(8) на начальной стадии для одной из моделей.

В расчетах мы не учитывали теплопроводность, что приводит к некоторому занижению размера зоны резкого изменения температур  $T_e$  и  $T_i$ , а также степени ионизации [7]. Это не окажет заметного влияния на дальнейшее поведение газа, так как при охлаждении до  $T \sim 3 \cdot 10^4$  К длина свободного пробега частиц резко уменьшается. Тем более теплопроводность несущественна при  $T < 10^4$  К, поскольку здесь длина пробега много меньше масштабов, на которых изменяется температура. Влияние излучения, в том числе  $L_c$ , выходящего из горячего слоя, также несущественно (см. [7]).



Рис. 1. Начальные стадии вволюции газа в лагранжевом влементе за фронтом ударной волны. Скорость облаков  $v_{st} = 100$  км/с, плотность частиц в облаке перед столкновением  $n_0 = 10$  см<sup>-3</sup>, степень ионизации  $x_0 = 10^{-2}$ . Шкалы для  $T_e$ ,  $T_l$ , x и y различны.

Достигнув максимума, степень ионизации х почти перестает меняться, тогда как температура заметно падает. Это связано с тем, что время рекомбинации при  $T = 10^4 \div 10^5$  К много меньше времени охлаждения При  $T \sim 10^4$  К электронная концентрация оказывается существенно больше значения, определяемого формулой Эльверта. Это обеспечиваег эффективное образование молекул  $H_2$  и последующее уменьшение температуры при высвечивании в линиях  $H_2$ .

При  $T \sim 10^{4}$  К гелий ионизован уже слабо, поэтому количество электронов определяется только величиной х. На рис. 2 представлено семейство решений x(t) для  $n_0 = 10$  см<sup>-3</sup> и  $v_{st} = 60$ , 80, 100 км/с. Здесь же приведены решения значения  $x_{H_s}(t)$ . Обратим внимание на

#### СТОЛКНОВЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЛАКОВ

слабую зависимость конечного значения  $x_{\rm H}$  от скорости сталкивающихся облаков  $v_{st}$ :  $x_{\rm H} \approx 3 \cdot 10^{-3}$ . Вариации начального значения степени ионизации влияют только на время, в'течение которого происходит релаксация температур  $T_i$  и  $T_s$ , но мало сказывается на поведении T и x, а следовательно и  $x_{\rm H}$ , при  $T \leq 10^4$  K.



Рис. 2. Электронная концентрация  $n_e (n_H + n_\rho + n_{He} + n_{He})$  — левая шкали и концентрация молекул водорода — правая шкала в лагранжевом влементе на поздних стадиях его вволюции,  $t = 10^3$  лет. Плотность частиц в исходном облаке  $n_0 = = 10$  см<sup>-3</sup>. Кривые помечены значениями величины  $u_e$  (км с).

Значение температуры через время  $t > 3 - 10 \cdot 10^6$  лет слабо зависит от параметров сталкивающихся облаков. Приблизительно оно равно:

$$T \approx 350 \,\mathrm{K} \left(\frac{t}{1 \,\mathrm{rog}}\right)^{-0.2} . \tag{13}$$

Однако при  $t < 3 \div 10$  млн. лет температура чувствительна к  $v_{st}$  и  $n_0$ . Это хорошо видно на рис. З. Для  $n_0 = 10$  см<sup>-3</sup> с увеличением  $v_{st}$  от 40 км/с до 100 км/с эффективность охлаждения молекулами H<sub>2</sub> растет: при  $v_{st} = 40$  км/с H<sub>2</sub> включается в охлаждение через время  $t \sim 2 \cdot 10^6$  лет, а при  $v_{st} = 100$  км/с — уже через  $t \sim 2 \cdot 10^4$  лет. Это понятно: увеличение скорости ведет к росту плотности в лагранжевом элементе. Однако при  $n = 10^2 \div 10^3$  см<sup>-3</sup> становится важной деактивация колебательных уровней столкновениями [14], и скорость охлаждения моле-

#### А. А. СУЧКОВ И ДР.

кулами  $H_2$  уменьшается. Поэтому уже при  $v_{st} = 200$  км/с  $H_2$  включается в охлаждение позже — при  $t \sim 4.10^4$  лет.



Рис. 3. Тепловая эволюция газа в лагранжевом элементе спустя  $t \sim 10^4$  лет после прохождения им фронта ударной волны. Сплошные линии соответствуют плотност: частиц в облаке перед столкновением  $n_0 = 10$  см<sup>-3</sup>, пунктирная линия— $n_0 = 1$  см<sup>-3</sup>, штрихпунктирная —  $n_0 = 10^2$  см<sup>-3</sup>. Кривые помечены значеннями величины  $v_{st}$  (км с).

Аналогичнов влияние на T(t) оказывает и изменение  $n_0$ . Например, с увеличением  $n_0$  от 1 см<sup>-3</sup> до 10 см<sup>-3</sup> для  $v_{st} = 100$  км/с эффективность охлаждения молекулами растет, но уже для  $n_0 = 100$  см<sup>-3</sup> и  $v_{st} = 100$  км/с молекулярный водород включается в охлаждение лишь при  $t \ge 4 \cdot 10^5$  лет.

Таким образом, столкновения облаков с первичным химическим составом сопровождаются эффективным образованием молекул  $H_2$  и HD, в результате чего газ охлаждается до температур  $T \sim 20$  К. При этом масса изотермического шара, критического по отношению к сжатию под действием гравитации и внешнего давления, равна:

$$M_{\rm s} = \frac{1.18 \, v^4}{G^{3/2} \, p^{1/2}} = 10^{-2} T^2 \left(\frac{n_0}{10 \, {\rm cm}^{-3}}\right)^{-1/2} \left(\frac{v_0}{100 \, {\rm km/c}}\right)^{-1} M_{\odot}. \tag{14}$$

Подставляя сюда для T значение, определяемое выражением (13) при  $t \sim \tau_s$ , и полагая  $v_{st}$  равным значению вириальной скорости  $v^s = 2GM_s/D_g$ , для  $n_g = 0.1 \text{ см}^{-3}$ ,  $n_u = 10^2 \text{ см}^{-3}$ ,  $M_g = 10^{11} M_{\odot}$  и  $M_c =$ 

 $= 10^7 M_{\odot}$  получим  $M_s = 0.8 M_{\odot}$ . Эта оценка слабо зависит от параметров протогалактики и входящих в нее облаков: легко показать, что  $M_s \propto M_c^{-0.13} M_g^{-0.2}$ . Однако, если удовлетворяется условие (4), то значение джинсовской 'длины ), рассчитанной для параметров слоя, 'значительно превосходит его толщину. В этом случае чисто гравитационная неустойчивость неэффективна — ее инкремент мал. Учет возмущения границы слоя существенно уменьшает критическую длину неустойчивости и увеличивает ее инкремент [5]. Возможно, на этом пути лежит решение вопроса о характеристиках звезд, рождающихся при столкновении первичных облаков.

Ростовский государственный университет

# THE COLLISIONS OF MASSIVE GAS CLOUDS WITH PRIMEVAL CHEMICAL COMPOSITION: DYNAMICS AND STAR FORMATION

## A. A. SUCHKOV, YU. A. SHCHEKINOV, M. A. EDEL'MAN

The thermal-chemical evolution of colliding massive clouds with primeval chemical composition is considered. The calculations are made for clouds of masses  $10^6-10^9 M_{\odot}$  and velocities of 40-200 km/s. The temporal behavior of the temperature, fractional ionization and abundance of H<sub>2</sub> and HD- molecules behind the shock are investigated. The amount of H<sub>2</sub> and HD- molecules produced behind the shock is shown to be sufficient to cool the gas down to 10-30 K. The obtained results are discussed as related to star formation in the early galaxy.

### **ΛИТЕРАТУРА**

- 1. B. M. Tinsley, R: B. Larson, M. N., 186, 503, 1979.
- 2. M. Stone, Ap. J., 159, 277, 1970.
- 3. A. Stene, Ap. J., 159, 293, 1970.
- 4. А. А. Сучков, Ю. А. Щекинов. М. А. Эдельман, Астрофизика (в печати).
- 5. B. C. Elmegreen, D. M. Elmegreen, Ap. J., 22), 1051, 19/8.
- 6. J. Smith, Ap. J., 238, 842, 1980.
- 7. С. Б. Пикельнер, Изв. Крымской обс., 12, 93, 1954.
- 8. Я. Б. Зельдович, Ю. Т. Райзер, Физика ударных воли и высокотемпературных газодинамических явлений, Наука, М., 1966.
- 9. Л. А. Вайнитейн, И. И. Собельман, Е. А. Юков, Возбуждение атомов и уширени спектральных линий, Наука, М., 1979.
- 10. M. V. Penston, Ap. J., 162, 771, 1970.

11. К. Ленг, Астрофизические формулы, т. 1, Мир, М., 1978.

12. Ю. А. Щекинов, М. А. Элельман, Письма АЖ, 4, 435, 1978.

13. Д. А. Варшалович, В. К. Херсонский, Письма АЖ, 2, 574, 1976.

14. В. К. Херсонский, Д. А. Варшалович, Астрон. ж., 55, 487, 1978.

15. С. А. Каплан, С. Б. Пиксльнер, Физика межэвездной среды, Наука, М., 1979.

16. S. Nishimura, K. Takayanagi, P.A.S. Japan, 12, 77, 1960.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

ВЫПУСК 4

УДК 52—6—726

# ЧЕРЕНКОВСКИЙ ЭФФЕКТ И ПЛАЗМЕННЫЙ ТУРБУЛЕНТНЫЙ РЕАКТОР

### Р. Д. ЛОМАДЗЕ

Поступила 7 декабря 1981 Принята к печати 27 июля 1982

Определены связанные с действием черенковского эффекта и нонизационных потерь ограничения на энергетический интервал формирующейся в плазменном турбулентом реакторе (ПТР) степенной функции распределения релятивистских электронов, знаки кривизны ее искажений в области низких энергий. Обсуждается возможность интерпретации особенностей спектров излучения космических радиоисточников на декаметровых волнах.

Степенная функция распределения релятивистских электронов, «вырабатывающаяся» в системе плазменного турбулентного реактора (основы теории ПТР изложены в работах [1—4]) при взаимодействии названных частиц с излучением в комптоновском (с конверсией электромагнитных волн в ленгмюровские) и синхротронном механизмах, соответствует области энергии электронов, где другие эффекты с их участием относительно малы. В настоящей статье, которая продолжает цикл выполненных С. А. Капланом и автором работ [5—8], исследуется влияние на функцию распределения быстрых электронов в ПТР черенковского взаимодействия этих частиц с плазменными волнами, а также ионизационных потерь.

Предполагается, что в реакторе поддерживается ленгмюровская турбулентность на постоянном уровне источником достаточной мощности, природа которого не конкретизируется.

Функция распределения  $f_{\epsilon}$  релятивистских электронов по энергиям в изотропном случае для квазистационарного состояния при нулевом потоке частиц по энергетической оси подчиняется уравнению

$$Af_{\epsilon} + c^{\dagger} \varepsilon^{2} D \frac{d}{d\varepsilon} \left( \frac{f_{\epsilon}}{\varepsilon^{2}} \right) = 0.$$
 (1)

Величина  $A = -d\varepsilon/dt$  связана со спонтанными актами излучения волн электронами и описывает систематические потери энергии последними в единицу времени, с — скорость света, D — диффузионный коэффициент, определяемый индуцированными процессами поглощения и испускания волн частицами и ответственный за их стохастическое ускорение.

В случае комптоновского рассеяния l + e = t + e' ленгмюровских (l) пульсаций в высокочастотные поперечные (t) волны на надтепловых электронах (e) плазмы при изотропных плазменной турбулентности и поле излучения коэффициенты уравнения (1) имеют вид

$$A = \frac{1}{\pi^2 c^3 \omega_p} \int d\omega \omega^3 \int dk W_k \overline{u}, \qquad (2)$$

$$D = \frac{1}{c^{2\omega_{p}}} \int d\omega w W_{\omega} \int dk W_{k} u, \qquad (3)$$

где  $\omega_p$  — ленгмюровская частота,  $\omega$  и k — частота электромагнитных и волновое число продольных плазменных волн,  $W_k$  и W — объемные плогности энергии турбулентности и излучения, отнесенные к единичным интервалам соответственно волнового числа и частоты, u — усредненная по угловым переменным и поляризациям вероятность процесса.

Величина W в ПТР определяется отношением коэффициентов излучения и поглощения электромагнитных волн релятивистскими частицами

$$W_{\omega} = \frac{J_{\omega}}{|\mu(\omega)|}, \qquad (4)$$

Для рассматриваемого эффекта l + e = t + e'

$$f_{\omega} = \frac{\omega^{3}}{\pi^{2} c^{3} \omega_{\rho}} \int d\varepsilon f_{*} \int dk W_{k} u, \qquad (5)$$

$$\mu(w) = \frac{\omega}{\omega_{p_{s}}} \int d\varepsilon \varepsilon^{2} \int \frac{d}{d\varepsilon} \left(\frac{f_{s}}{\varepsilon^{2}}\right) \int dk W_{k} \overline{u}.$$
 (6)

Из приведенных формул видна нелинейность уравнения (1) относительно функции /.

При  $k > \omega_{\rho}/c$  (область фазовых скоростей ленгмюровских волн, меньших скорости света), в отличие от противоположного случая, вероятность комптоновского рассеяния зависит от волнового числа k, и интегрирование по нему в (2), (3), (5) и (6) требует задания формы энергетического спектра продольных пульсаций. В соответствии с результатами исследований плазменной турбулентности (см., например, обзор [9]) принимаем

$$W_k = \frac{C'}{k^{\beta}}, \quad \frac{w_p}{c} \lesssim k \lesssim \frac{w_p}{3v_T}.$$
(7)

Здесь  $C^{t} = (\beta - 1) (\omega_{p}/c)^{\beta-1} W_{0}$ ,  $W_{2}$  — полная плотность энергии ленгмюровских волн в указанном интервале k,  $\sigma_{T}$  — тепловая скорость электронов плазмы, предполагаемая много меньшей c. Расчет величин A, D, J,  $\mu(\omega)$  подобен описанному в работе [6]; результаты его содержаться в Приложении.

Как при конверсии  $l+e = t + e^{e}$ , так и при синхротронном взаимодействии частиц с электромагнитным излучением уравнение (1) имеет решение  $f_{e} \sim e^{-3}$ .

Обратимся к рассмотрению черенковского эффекта. Для потерь энергии релятивистскими электронами на испускание ленгмюровских волн с этом механизме и соответствующего диффузионного коэффициента при спектре турбулентности (7) получаем согласно [10]

$$A = \frac{e^{2\omega_{p}^{2}}}{c} \ln \frac{c}{3v_{7}},$$

$$D = \frac{2\pi^{2}(\beta - 1)e^{2}W_{2}}{(\beta + 2)\omega_{p}}$$
(8)
(9)

(с — заряд электрона). Отметим, что, заменяя в (8) логарифмический множитель кулоновским логарифмом  $\Lambda = \ln \left[4\pi n \left(\upsilon_T/\omega_p\right)^3\right] (n -$ концентрация тепловых электронов плазмы), легко перейти к учету ионизационных потерь, что мы и делаем ниже.

Если наряду с коэффициентами, списывающими комптоновское и синхротронное взаимодействия, ввести в (1) также выражения (8) и (9), предполагая относительную малость последних, то решение уравнения приобретёт дсполнительные слагаемые

$$f_{\varepsilon} = \frac{K}{\varepsilon^3} \left[ 1 + E \left( \frac{mc^2}{\varepsilon} \right)^2 + F \left( \frac{mc^2}{\varepsilon} \right)^3 \right], \tag{10}$$

 $E(mc^2/z)^2$ ,  $F(mc^2/z)^3 \ll 1$ . Первая из поправок связана с учетом (8), вторая — с (9).

Полагая в (7) индекс  $\beta = 2$  [9], опишем процедуру определения параметров E и F.

Вычисляем мощность излучения электромагнитных волн быстрыми частицами, распределенными по энергиям в согласии с функцией (10). Для комптоновского рассеяния плазменных пульсаций с малыми фазовыми скоростями пользуемся результатами (П.7), (П.9) и (П.8), в случае же  $k > \omega_p/c$ , а также для синхротронного эффекта — известными формулами, собранными в [2], и складываем полученные выражения:

$$J_{\omega} = \frac{2e^{2}\omega_{p}^{2}(W^{l} + W^{m})K}{9c^{2}m^{3}n\omega} \left\{ 1 + \frac{1.4\omega_{p}\left[W_{1} + 0.4\ln\left(\frac{c}{3v_{f}}\right)W_{2}\right] + 1.8\omega_{H}W^{m}}{(W^{l} + W^{m})\omega} E + \frac{1.7\omega_{p}^{3/2}\left[W_{1} + 0.5\left(\frac{c}{3v_{f}}\right)^{1/2}W_{2}\right] + 3.0\omega_{H}^{3/2}W^{m}}{(W^{l} + W^{m})^{2}\omega^{3/2}}F \right\},$$
(11)

где W' и  $W_1$  — интегральные плотности энергии турбулентности соответственно в полном ее спектре и в области фазовых скоростей, больших с ( $W' = W_1 + W_2$ ), W''' — плотность энергии магнитного поля, *m* и  $\omega_H$  — масса и гирочастота электронов (последняя предполагается много меньшей  $\omega_p$ ).

Аналогичным образом составляем суммарный коэффициент поглощения  $\mu(\omega)$  и, используя соотношение (4), находим спектральную плотность излучения W (она состоит из трех слагаемых вида (П.3) со значениями показателя v, равными 5/2, 3/2 и 1). Далее рассчитываем соответствующие последней величине коэффициенты диффузионного ускорения частиц D в обоих основных в ПТР процессах и складываем их с выражением (9) при  $\beta = 2$  для подстановки в уравнение (1) наряду с суммой комптоновских, синхротронных и ионизационных потерь A, а также с функцией распределения (10). Напомним, что для вычислений в случае  $k > \omega_p/c$  при конверсии l + e = t + e' необходимы формулы, приведенные в Приложении (для  $\mu(\omega) - (\Pi.10)$ , (П.11), для  $D - (\Pi.4)$ , (П.5), для  $A - (\Pi.2)$ ).

Сравнение слагаемых одинаковых порядков величины в (1) дает искомые параметры:

$$E = \frac{2.2c^2 mn\Lambda}{(W'^{l} + W'^{m})(0.4 + E')},$$
(12)

$$F = -\frac{5.6\pi^2 \frac{c^* n}{\omega_p}}{(W' + W'')(0.6 + F')},$$
(13)

$$E' = \frac{0.8 \left( W_1 + 1.6 W_2 \right) + 1.0 \left( \frac{\omega_p}{\omega_H} \right)^{1/2} W^m}{W_1 + 1.1 W_2 + 1.0 \left( \frac{\omega_H}{\omega_p} \right)^{1/2} W^m} \times$$

644

$$\times \left\{ \frac{1.4 W_{1} + 1.8 \frac{\Theta_{H}}{\Theta_{p}} W^{m}}{W^{*} + W^{m}} - \frac{2.1 \left[ W_{1} + 0.5 \left( \frac{c}{3v_{T}} \right)^{1/2} W_{2} \right] + 3.6 \left( \frac{\Theta_{H}}{\Theta_{p}} \right)^{3/2} W^{m}}{W_{1} + 1.1 W_{2} + 1.0 \left( \frac{\Theta_{H}}{\Theta_{p}} \right)^{1/2} W^{m}} \right\}$$

$$F' = \frac{0.9 \left( W_{1} + 0.8 W_{2} \Lambda' \right) + 2.2 \frac{\Theta_{p}}{\Theta_{H}} W^{m}}{W_{1} + 1.1 W_{2} + 1.0 \left( \frac{\Theta_{H}}{\Theta_{p}} \right)^{1/2} W^{m}} \times \left[ \frac{1.7 W_{1} + 3.0 \left( \frac{\Theta_{H}}{\Theta_{p}} \right)^{3/2} W^{m}}{W^{l} + W^{m}} - \frac{3.0 \left( W_{1} + 0.2 \frac{c}{3v_{T}} W_{2} \right) + 7.7 \left( \frac{\Theta_{H}}{\Theta_{p}} \right)^{3/2} W^{m}}{W_{1} + 1.1 W_{2} + 1.0 \left( \frac{\Theta_{H}}{\Theta_{p}} \right)^{1/2} W^{m}} \right].$$

Происходящая от выражения в фигурных скобках в (П.5) величина  $\Lambda' = \ln [2 (\varepsilon/mg^2)^2] - (13/12)$  ввиду слабой зависимости от  $\varepsilon$  при выводе (13) принималась постоянной.

Ниже можно будет убедиться, что всегда знак E отрицателен, а знак F положителен. Это означает, что ионизационные потери стремятся сделать возрастание складывающейся в реакторе функции распределения быстрых электронов в направлении низких энергий более медленным, чем по закону  $f_e \sim e^{-3}$ , тогда как эффект ускорения частиц ленгмюровскими волнами в черенковском механизме проявляет противоположную тенденцию. «Завал» степенной функции может наступить при значениях e, для которых первая поправка в скобках в (10), возрастая, приближается х единице, если вторая поправка остается малой, а укручение — напротив, соответствует близости второй поправки к единице при одновременной малости первой.

Рассмотрим отдельно три частных случая соотношений между велччинами энергий плазменной турбулентности и магнитного поля

$$\frac{W_1 + W_2 \Lambda'}{W^m} \gg \frac{\omega_p}{\omega_H},\tag{14}$$

10-1019

$$W' \approx W^{m}, \tag{15}$$

$$\frac{W^{**}}{W_1 + \frac{c}{3\upsilon_T}W_2} \gg \left(\frac{\omega_p}{\omega_H}\right)^2.$$
(16)

При (14) в полученных результатах можно пренебречь связанными с синхротронным взаимодействием слагаемыми по сравнению с аналогичными для комптоновского рассеяния, в случае же (16) — наоборот. Из (12). (13) при  $W_1 \approx W_2 \approx W'/2$  следует для (14), (15) и (16) соответственно

$$\begin{split} E &\approx -3\Lambda \left(\frac{3\upsilon_{\tau}}{c}\right)^{1/2} \frac{c^2 m n}{W^4} \qquad F \approx \frac{3 \cdot 10^2}{1 + \Lambda'} \frac{c^3 n}{\omega_p^3} \frac{3\upsilon_{\tau}}{c}, \\ E &\approx -3\Lambda \left(\frac{3\upsilon_{\tau}}{c}\right)^{1/2} \left(\frac{\omega_p}{\omega_H}\right)^{3/2}, \qquad F \approx 3 \cdot 10 \frac{c^3 n}{\omega_p^3} \frac{3\upsilon_{\tau}}{c} \frac{\omega_H}{\omega_p}, \\ E &\approx -3\Lambda \left(\frac{\omega_p}{\omega_H}\right)^2, \qquad F \approx 3 \frac{c^3 n}{\omega_p^3} \frac{W^4}{W^m}. \end{split}$$

Обращаем внимание на то, что параметр F содержит множитетелем огромную для космической плазмы комбинацию  $c^3n/w_\rho^3$  (например, при  $n = 10^6$  см<sup>-3</sup> она прядка  $10^{11}$ ), так что условие  $F(mc^2/\epsilon)^3 \ll 1$ , озиачающее низкую эффективность черенковского ускорения частиц по сравнению с комптоновским (l + e = t + e') и синхротронным, выполнимо при очень больших значениях  $\epsilon$ .

Предполагаемая нами неизменность уровня турбулентности требует непрерывного восполнения энергии ленгмюровских волн, интенсивно поглощаемой релятивистскими электронами в черенковском взаимодействии. Обозначая концентрацию последних через n<sub>\*</sub>, приведем получающуюся для оценки соответствующей мощности формулу

$$Q^{l} = \omega_{p} W_{2} \frac{mc^{2}}{\varepsilon_{*}} \frac{n_{*}}{n}.$$

Определяя в каждом из рассматриваемых случаев нижнюю границу  $\varepsilon_*$  энергетического интервала функции  $f_* \sim \varepsilon^{-3}$  из равенства единице третьего слагаемого в скобках в (10) и допуская малость второго относительно единицы, выводим условия укручения  $f_{\pm}$ . Например, для (15) оно имеет вид

$$Q^{l} \gg 10^{-20} n^{2} \left( \frac{c}{3v_{T}} \frac{\omega_{p}}{\omega_{H}} \right)^{1/2} \Lambda \frac{n_{*}}{n}, \qquad (17)$$

646

где  $Q^{l}$  измеряется в эрг/см<sup>3</sup> с, *п* и  $n_{*}$  — в см<sup>-3</sup>, *с* и  $v_{T}$  — в см/с,  $\omega_{\rho}$  и  $\omega_{H}$  — в с<sup>-1</sup>.

Попробуем связать полученные результаты с данными о спектрах излучения диокретных радиоисточников (квазары, радиогалактики, неотождествленные объекты) в области низких частот. Как известно, степенная форма зависимости интенсивности излучения от частоты  $I_\omega \sim \omega^{-\epsilon}$ , которая определяется степенным же характером функции распределения излучающих посредством синхротронного механизма релятивистских электронов (индекс α близок к единице и связан с показателем γ соотношением  $a = (\gamma - 1)/2)$ , у многих источников (около 14% от общего числа) на декаметровых волнах ( $\omega \approx 10^8 \ c^{-1}$ ) искажается [11]. Наблюдаются как завалы спектра (отрицательная кривизна), так и его укручения (положительная кривизна). Было бы естественно объяснить эти искажения в рамках теории ПТР (вопрос о реализации условий, характерных для плазменных турбулентных реакторов, в радиоисточниках обсуждается в работах [2, 4, 12, 13]) как «отражение» отклонений функции f, на низких энергиях от степенного вида. Оставляя в стороне проблему выхода быстрых электронов из недр реактора (разные случаи их пространственной диффузии рассмотрены, например, в [8, 14]), найдем выражение для интенсивности исходящего из области малой оптической толщины синхротронного излучения частиц, подчиненных распределению (10), следующее из формулы (11) в пренебрежении слагаемыми, описывающими комптоновское взаимодействие. Переходя от мощности излучения ж спектральному индексу  $a = -d(\ln f_{\omega})/d(\ln \omega)$ , имеем

$$\alpha = 1 - 1.8 E \frac{\omega_{H}}{\omega} + 4.4 F \left(\frac{\omega_{H}}{\omega}\right)^{3/2}.$$
 (18)

Штрихом отмечена электронная гирочастота в области прозрачности. Отрицательной кривизне спектра соответствует близость первой поправки справа в (18) к единице и малость второй, а малость первой и одновременная близость к единице второй поправки означают наличие положительной кривизны.

Параметры E и F, а следовательно, и выражение (18), слабо чувствительны к вариациям концентрации и температуры электронов в реакторе. Примем для оценок  $n \approx 10^6$  см<sup>-3</sup> (тогда условие  $w_H \ll w_P$  ограничивает наше рассмотрение значениями напряженности магнитного поля в ПТР  $H \ll 3 \ \Im$ ) и  $T \approx 10^1$  град. кулоновский логарифм  $\Lambda \approx 20$ , а также  $\Lambda' \approx 10$ .

Для компенсации величины  $c^3 n/\omega^3$  (см. выше) в последней поправке в (18) при частотах  $\omega \ge 10^8$  с<sup>-1</sup> напряженность магнитного поля H'в области малой оптической толщины в случае (14) не может прево-

## Р. Д. ЛОМАДЗЕ

сходить  $3 \cdot 10^{-9}$  Э, а при (15) должна быть много меньше  $10^{-6}$  Э, что существенно ниже принятых для радиоисточников значений. В случае (16) возможно повышение H' до величины  $3 \cdot 10^{-5}$  Э, при которой, однако, требуется для завала степенного спектра излучения (W''/W')  $\gg$   $\gg 3 \cdot 17^7$ , для укручения (W''/W')  $\sim 10^7$ .

Что касается неравенства (17) (в случае (15) при положительной кривизне разрешены  $H \gg 3 \cdot 10^{-4}$  Э) и аналогичных оценок мощности генерации ленгмюровских волн для (14) и (15), то они совместимы с представлениями об энерговыделении таких объектов, как квазары и ядра галактик (отношение  $n_*/n$  предполагаем порядка или меньше  $10^{-2}$ ).

Если источник турбулизации не обладает достаточной мощностью, и возможным является лишь завал спектра излучения, то условия его длл случаев (14)—(16) соответственно:  $H' \sim W'/c^2mn$ ,  $H' \sim 0.1 H^{3/2}$ ,  $H' \sim 3 \cdot 10^{-3} H^2$  (здесь напряженности магнитного поля подразумеваются измеренными в Эрстедах). Например, значению  $H' \approx 10^{-4}$  Э в области оптической прозрачности должны отвечать следующие параметры ПТР: по первому из выписанных соотношений —  $(W'/c^2mn) \sim 10^{-4}$ , по второму —  $H \sim 10^{-2}$  Э (согласно (15),  $(W'/c^2mn) - 3 \cdot 10^{-6})$ , по третьему —  $H \sim 0.1$  Э.

Автор искренне благодарит В. Н. Цытовича и Дж. Г. Ломинадзе за полезные обсуждения.

Абастуманская астрофнзическая обсерватория

## Приложение

Вероятность конверсии ленгмюровской волны с фазовой скоростью  $v \ll c$  в электромагнитную при комптоновском рассеянии на надтепловом ультрарелятивистском электроне, усредненная по углам и поляризациям, равна

$$\bar{u} = -\frac{\pi^2 e^2 \omega_p^3 \varepsilon^2}{2c^4 m^3 n \omega^4} q \left(\frac{8}{3} - 8q - 8q^2 \ln q + \frac{16}{3} q^3\right),$$

$$0 \leqslant q = \frac{\omega}{2ck} \left(\frac{mc^5}{\varepsilon}\right)^2 \leqslant 1.$$
(П.1)

Коэффициенты (2), (3), (5), (6) вычислены с (П.1) и (7) в интервале от  $k_1$  до  $k_2$  при  $k_1 \ll k_2$ . Величина (2) для  $\beta > 1$ 

$$A = \frac{4e^{2}\omega_{p}^{2}C'}{9(\beta-1)c^{3}mnk_{1}^{\beta-1}} \left(\frac{\varepsilon}{mc^{2}}\right)^{2}.$$
 (П.2)

Коэффициент (3) со спектральной плотностью энергии изотропного излучения, отнесенной к единичному частотному промежутку

$$W_{\omega} = C^{t} \omega^{*}, \quad \omega \leqslant \omega_{*} \qquad (\Pi.3)$$

(постоянная  $C^t$  связана с полной энергией электромагнитных волн в единичном объеме (в рассматриваемом диапазоне  $\omega$ ), в случае ( $\epsilon/mc^2$ )  $< < (\omega_*/2ck_2)^{1/2}$ ,

ecah  $\beta > 0$ ,  $\nu > 1$ ,  $\beta - \nu + 1 > 0$ ,

$$D = \frac{\pi^{2} 2^{\nu} (\nu^{2} + \nu + 2) e^{2\omega_{p}^{2}} C^{t} C^{l}}{(\nu - 1) \nu (\nu + 1)^{2} (\nu + 2) (\beta - \nu + 1) mnc^{4-\nu} k_{1}^{\beta-\nu+1}} \left(\frac{\varepsilon}{mc^{2}}\right)^{2\nu-2}, (\Pi.4)$$

если  $\beta > 0$ ,  $\nu = 1$ ,

$$D = \frac{2\pi^2 e^{\frac{\alpha}{2}} \omega_p^2 C' C'}{3\beta c^3 m n k_1^{\beta}} \left\{ \ln \left[ \frac{2ck_1}{\omega_p} \left( \frac{\varepsilon}{mc^2} \right)^2 \right] + \frac{1}{\beta} - \frac{19}{12} \right\}. \tag{\Pi.5}$$

Величина (5) с изотропной функцией распределения быстрых частиц по энергиям

$$f_{\epsilon} = \frac{K}{\epsilon^{\gamma}}, \quad \epsilon \geqslant \epsilon_{\ast} \tag{(\Pi.6)}$$

(постоянная K выражается через концентрацию релятивистских электронов) для  $w > 2ck_2(\varepsilon_*/mc^2)^2$  и  $\beta > 0$ ,  $\gamma > 1$ :

при 
$$\beta - \frac{\gamma - 1}{2} > 0$$

$$J_{*} = \frac{2^{(\gamma+7)/2} (\gamma^{2} + 4\gamma + 11) e^{2\omega_{p}^{2} K C^{l}}}{(\gamma^{2} - 1) (\gamma + 3)^{2} (\gamma + 5) (2\beta - \gamma + 1) e^{(3\gamma+5)/2} m^{\gamma} n k_{1}^{\beta - (\gamma-1)/2} \omega^{(\gamma-1)/2}}, \quad (\Pi.7)$$

при  $\beta - \frac{\gamma - 1}{2} < 0$ 

$$J_{*} = \frac{2^{(\gamma+7)/2} (\gamma^{2} + 4\gamma + 11) e^{2\omega_{p}^{2} K C'} k_{2}^{(\gamma-1)/2-\beta}}{(\gamma^{2} - 1) (\gamma + 3)^{2} (\gamma + 5) (\gamma - 2\beta - 1) c^{(3\gamma+5)/2} m^{3} n \omega^{(\gamma-1)/2}}, \quad (\Pi.8)$$

при  $\beta = \frac{\gamma - 1}{2} = 0$ 

$$J_{*} = \frac{2^{3} (\beta^{2} + 3\beta + 4) e^{2} \omega_{p}^{2} K C^{\prime} \ln (k_{2}/k_{1})}{\beta (\beta + 1) (\beta + 2)^{2} (\beta + 3) c^{3\beta + 4} m^{2\beta + 1} n \omega^{3\beta}}$$
(П.9)

Коэффициент (6) с (П.6) при  $\beta > 0$ ,  $\gamma > 0$ :

в случае  $\beta - \frac{1}{2} > 0$ 

$$\mu(\omega) = -\frac{\pi^2 2^{(\gamma+\delta)/2} (\gamma^2 + 6\gamma + 16) e^2 \omega_{\mu}^2 K C^l}{\gamma (\gamma+4)^2 (\gamma+6) (2\beta-\gamma) c^{(3\gamma+2)/2} m^{\gamma+1} n k_1^{\beta-\gamma/2} \omega^{(\gamma+4)/2}}, \quad (\Pi.10)$$

в случае  $\beta - \frac{\tau}{2} < 0$ 

$$\mu(\omega) = - \frac{\pi^2 2^{(\tau+8)/2} (\gamma^2 \div 6\gamma + 16) e^2 \omega_p^2 K C^l k_2^{(\gamma/2)-p}}{\gamma (\gamma + 4)^2 (\gamma + 6) (\gamma - 2\beta) e^{(3\gamma+2)/2} m^{\gamma+1} n \omega^{(\tau+4)/2}} \cdot (\Pi.11)$$

## CHERENKOV EFFECT AND TURBULENT PLASMA REACTOR

### R. D. LOMADZE

Limitations on energetic interval of power-law distribution function of relativistic electrons, formed in turbulent plasma reactor (TPR), caused by the action of Cherenkov effect and ionization losses are determined. The curvature signs of the distribution functions distortions in the region of low energies are defined. Possibility of interpretation of peculiarities in radiation spectra of cosmic radiosources in the decametric wave-length region is discussed.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- 1. В. Н. Цытович, А. С. Чихачев, Астрон. ж., 46, 486, 1969.
- 2. С. А. Каплан, В. Н. Цытович, Плазменная астрофизика, Наука, М., 1972.
- 3. Ю. А. Николась, В. Н. Цытович, А. С. Чихачев, ЖЭТФ, 64, 877, 1973.
- 4. C. A. Norman, D. ter Haar, Phys. Rep. Phys. Lett. 17C, 307, 1975,
- 5. С. А. Каплан, Р. Д. Ломалзе, Тезисы докладов IX Всесоюзн. конф. по галакт. и внегалакт. радноастрон., Харьков, 1976, стр. 92.
- 6. С. А. Каплан, Р. Д. Ломадзе. Бюлл. Абастуманской обс., No 48, 213, 1977.
- 7. Р. Д. Ломадзе, Бюлл. Абастуманской обс., № 48, 239, 1977.
- 8. C. A. Каплан, P. Д. Ломадзе, Astrophys. Space Sci., 57, 257, 1978.
- 9. В. Н. Цытович, Проблемы теории плазмы, Труды II Международ, конф., Наукова думка, Киев, 1976, стр. 211.
- 10. В. Н. Цытович, Нелинейные эффекты в плазме, Наука, М., 1967.
- 11. С. Я. Брауле, И. Н. Жук, А. В. Мень, Б. П. Рябов, К. П. Соколов, Н. К. Шарыкин, Astrophys., Space Sci., 54, 145, 1978.
- 12. Р. Д. Ломадзе, Диссертация, Тбилиси, 1978.
- 13. Я. М. Соболев, Препринт ИРЭ АН УССР, № 155, Харьков, 1980.
- 14. Ю. А. Николасв, Диссертация, М., 1979.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

ВЫПУСК 4

краткие сообщения

УДК 524.7—77

# НАБЛЮДЕНИЯ ГАЛАКТИК С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ КОНТИНУУМОМ НА ЧАСТОТЕ 327 МГц

1. Ввсленис. Осенью 1973 г. и весной 1981 г. с помощью Ути-радиотелескопа (Индия) были проведены наблюдения 174 галактик с ультрафиолетовым континуумом (УФК) на частоте 327 МГц. Источниками УФК-галактик, в основном, послужили списки Маркаряна и сотрудниксе [1—3]. В программу наблюдений были включены также другие УФКобъекты [4]. Среди 174 галактик 82 являются объектами сейфертовской (Sy) природы. из которых 51— сейфертовские галактики 1-го типа, 25 второго и 4— Sy 1.5. Данные о сейфертовских галактиках и красные смещения брались из работ [4—11].

2. Метод и результаты наблюдений. Ути-раднотелескоп и методы наблюдений источников с его помощью хорошо описаны в литературе [12], поэтому ниже мы перечислим лишь его основные характеристики. Антенна раднотелескопа имеет форму усеченного параболического цилиндра с размерами 530 м  $\times$  30 м, большая ось которого параллельна полярной оси Земли. Максимальная эффективная площадь антенны  $\sim$  8000 м<sup>2</sup>, ширина диаграммы направленности 2°  $\times$  3.6 созес д. Среднеквадратическая величина шумов при постоянной времени 1 с составляет  $\sim$  0.15 Янский. Уровень эффекта путаницы 1.5 Янский. Антенна радиотелескопа может следить за источником в плоскости прямого восхождения в течение 9.5 часов со скоростью вращения Земли, а также быстро сканировать объект в этой же плоскости со скоррстью 6 градусов дуги в минуту.

Каждый объект наблюдался не менее чем три раза на разных часовых углах. Далее, те галактики, радиоизлучение которых было заподозрено при наблюдениях методом быстрого сканирования, повторно наблюдались методом слежения продолжительностью 2—3 минуты. Плотности потоков оценивались относительно опорных источников. Обычно ежедневно наблюдались 3—5 опорных источников. В общей сложности были наблюдены более 20 опорных источников, потоки которых на частоте 327 МГц были определены путем интерполяции между значениями потоков на разных частотах. Шкала плотностей потоков опорных источников близка к шкале [13].

Галактика	S <sub>321</sub> (Ян)	Ζ	Тип галактики
Mkn 463	2.2	0.051	Sy 2
Mkn 728	2.1	0.034	Sy 1.5
NGC 1068	14.8	0.0038	Sy 2
3C 120	6.0	0.033	Sy 1
227	23.6	0.085	Sy 1
3C 287.1	7.1	0.216	Sy 1
PKS 2349-01	4.5	0.174	Sy 1

## ДАННЫЕ РАДИОНАБЛЮДЕНИЙ 7 ГАЛАКТИК С S > 1.5 Ян

Таблица І

В табл. 1 приведены результаты наблюдений 7 галактик с потоками более 1.5 Янский, где последовательно даны: наименование галактики, значение плотности потока на частоте 327 МГц в Янских, красное смещение (Z) и тип галактики. В табл. 2 приведены данные наблюдений 19 галактик, потоки которых на частоте 327 МГц  $0.5 < S \le 1.5$  Янских. Табл. 3 содержит результаты наблюдений 148 галактик, для которых радиоизлучение меньше 0.5 Янских. Погрешность измерений плотностей потоков для сильных источников (S > 1.5 Ян) определяется погрешностью абсолютной шкалы потоков ( $\sim 20\%$ ), а для слабых — эффектом путаницы (S < 1.5 Ян).

Следует отметить, что в табл. 2 были включены только те УФК-галактики, в окрестностях которых, не менее чем 10—15 диаграмм антенны, не имеются известные радиоисточники с потоками > 1.5 Ян. Остальные объекты вошли в табл. 3, даже в тех случаях, когда в направлении галактики зарегистрировано заметное радиоизлучение. Это в какой-то мере повышает достоверность данных табл. 2, хотя для этих объектов величины потоков не превышают уровень эффекта путаницы. С другой стороны, часть объектов табл. 3 может оказаться источниками радиоизлучения с потоками < 1.5 Ян, если снизить уровень эффекта путаницы. По этой причине планируется объекты табл. 2 и часть эффекта путаницы. По этой причине большого Ути-радиоинтерферометра [14].

Таблица 2

ДАННЫЕ РАДИОНАБЛЮДЕНИЙ 19 ГАЛАКТИК С  $0.5 < S \le 1.5$  Ян

## ГАЛАКТИКИ С ВЕРХНИМИ ГРАНИЦАМИ ПЛОТНОСТЕЙ ПОТОКОВ < 0.5 Ян

Галактива	S <sub>337</sub> (Ян)	Ζ	Тип галактики			Гала	ктика		
N/1 014		0.000		Mkn 36	Mkn 317	Mkn 347	Mkn 389	Mkn 716	Mkn 1146
Mkn 314	0.0	0.006		49	318	349	397	720	1179
315	0.9	0,038	Sy 1	50	319	350	398	739	1187
327	1.2			51	320	351	400	771	1239
337	0.9			52	321	353	504	793	1243
346	1.5	0.018	1.00	58	322	354	509	789	1298
401	0.7	0.006		69	323	357	514	796	1310
573	0.7	0.016	Sy 2	291	324	359	527	841	1330
590	0.9	0.027	Sy 1	296	325	360	530	877	1347
759	0.8	0.0062		297	326	361	533	926	1376
<b>87</b> 0	1.0			298	328	362	538	928	1383
871	0.7	0.034	Sy 1	300	329	363	541	938	Mkn 1391
883	0.9	0.035	Sy 2	301	330	364	543	945	Akn 223
915	0.9	0.0024	Sy 1.5	302	331	365	545	955	253
995	1.1		e**	303	332	366	584	975	Akn 347
1218	1.2	0.031	Sy 1	304	334	368	595	984	NGC 7469
1320	0.7	0.103	QSO/Sy	305	335	369	609	1014	IZw 1
Mkn 1325	1.1	0.0244		306	336	370	617	1018	II Zw 1
NGC 3227	0.6	0.0033	Sy 2	308	338	371	618	1044	11 Zw 136
, NGC 5548	1.4	0.017	Sy 1	309	339	372	673	1048	III Zw 2
	-			310	341	384	688	1095	III Zw 55
				311	342	385	704	1126	Ton 524a
				- 312	343	386	705	1127	Tol 2377-027
				313	344	387	707	1133	X Comae
				316	345	388	715		
				010					

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Таблица З

653

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Авторы выражают благодарность наблюдателям Ути-радиотелескопа за оказанную помощь в наблюдениях. Двое из авторов (В. А. С. и Р. А. К.) благодарят дирекцию Радиоастрономического центра за гостеприимство во время их визита в Индию.

Observations of Galaxies with Ultraviolet Continuum at 327 MHz. The results of observations of 174 galaxies with ultraviolet continuum at 327 MHz are presented. The observations were carried out with the Ooty radio telescope (India).

22 декабря 1981

Бюраканская астрофизическая обсерватория

	Р. А. КАНДАЛЯН
Радноастрономический центр Тата института	<b>Β. Ρ. ΒΕΗΥΓΟΠΑΛ</b>
фундаментальных исследований Индии	 Д. С. БАГРИ

В. А. САНАМЯН

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Б. Е. Маркарян. Астрофизика, 3, 55, 1967; 5, 443, 581, 1969.
- 2. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, Астрофизика, 7, 511, 1971; 8, 155, 1972; 9, 487 1973; 10, 307, 1974; 12, 389, 657, 1976.
- 3. Б. Е. Маркарян. В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян. Астрофизика. 13, 225, 397, 1977: 15, 201, 363, 549, 1979.
- 4. D. W. Weedman, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 15, 69, 1977.
- 5. D. W. Weedman, M. N., 184, 11P, 1978.
- 6. В. Л. Афанасьев, Э. К. Денисюк, В. А. Липовецкий, Письма АЖ. 5, 271, 1979.
- 7. D. Kunth, W. L. W. Sargent, ESO proprint No. 35, 1978.
- 8. В. Л. Афанасьсь, В. А. Липовецкий, Б. Е. Маркарян, Дж. А. Степанян, Астрофизика, 16, 193, 1980.
- 9. Б. Е. Маркарян. В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, Астрофизика, 16, 5, 609, 1980.
- 10. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов. Астрофизика, 8, 177, 329. 1972.
- 11. И. Д. Караченцев, Письма АЖ. 7, 3, 1981.
- G. Swarup, N. V. Sarma, M. N. Joshi, V. K. Kapahi, D. S. Bagri, H. S. Damle, S. Ananthakrishnan, V. Balasubramantan, S. S. Bhave, R. P. Sinha, Nature Phys., Sci., 230, 185, 1971.

13. M. P. Véron, P. Véron, A. Witzel, Astron. Astrophys., Suppl. ser., 13. 1, 1974. 14. D. S. Bagri, Ph. D. Thesis Univ. Bombay, 1975.

УДК 524.338.6

## О СПЕКТРЕ ОДНОЙ ВСПЫШКИ ЗВЕЗДЫ ҮҮ GEM

Во время наблюдений звезды YY Gem для исследования ее спектра в минимуме блеска, на одной спектрограмме случайно захвачена вспышка.





К ст. В. В. Амбаряна

Ниже приводятся некоторые результаты изучения этой спектрограммы YY Gem.

Наблюдения YY Geni (рис. 1) были выполнены на 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории с универсальным дифракционным спектрографом UAGS, с дисперсией 136 А/мм и охватывают спектральную область  $\lambda$  3500—5000 А.

В табл. 1 приведены некоторые сведения об обработанных спектральных наблюдениях.

Таблица 1 СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ҮҮ Gom

Дата	UT	Эксп. (мин)	Звезда сравнения
3.02.1981	22 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	35	γ Gem
5.02.1981	21 50	, 30	2 Gem

В качестве стандартов были использованы звезды типа АО, α и у Gem, с известным распределением энергии в спектре [1]. Их спектры были сфотографированы за несколько секунд.

По регистрограммам наших наблюдений, записанным на микрофотометре ИФО-451, было получено распределение энергии в спектрах YY Gem в минимуме блеска и во время вспышки. Характеристические кривые были построены с помощью калибровочных шкал, полученных на трубчатом фотометре. Полученные нами распределения были нормированы к длине волны λ 4925 A (рис. 2).



Рис. 2. Относительное распределение энергии непрерывного спектра вспыхивающей звезды YY Gem (3.02.81 г. и 5.02.81 г.).

Были вычислены также относительные интенсивности эмиссионных линий водорода и однажды ионизованного кальция. В табл. 2, в последовательных столбцах, для всех измеренных линий приведены относитель-

#### краткие сообщения

ные интенсивности ( $I_{\lambda}$ ), их отношения к интенсивности линии H<sub>3</sub> ( $I_{\lambda}/I_{\mu}^{H}$ ) в минимуме блеска (3.02.81) и во время вспышки (5.02.81) и отношение интенсивностей соответствующих линий для двух этих дат ( $I_{\lambda}(\text{всп.})/I_{\lambda}(\text{мин})$ ).

			λ	[]] []x/]	Ήβ	Іл(всп.)
Линия		3.02.81	5.02.81	3.02.81	5.02.81	<i>Ъ</i> (мин)
Hβ	4861	11.6	9.3	1.0	1.0	0.8
H <sub>1</sub>	4340	41.0	58.6	3.5	6.3	1.4
Ha	4101	10.9	29.9	0.9	3.2	2.7
H+H. Ca	II 3970	7.9	14.9	0.7	1.6	1.9
К Са	II 3934	4.3	24.1	0.4	2.6	5.6
H	3889	0.6	2.4	0.1	0.3	4.0
Hη	3835	0.2	1.5	0.0	0.2	7.5
Ho	3797	0.1	1.4	0.0	0.2	14.0

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ

Таблица 2

Результаты, приведенные на рис. 2 и в табл. 2, содержат значительные ошибки из-за большого различия между временами получения спектров стандартных звезд и звезды YY Gein, и к ним следует отнестись с некоторой осторожностью. Однако можно думать, что они не повлияли на окончательные результаты, по крайней мере качественно.

Наши результаты находятся в согласии с данными работы Боппа [2]. По его наблюдениям отношение эквивалентных ширин бальмеровских линий  $H_{\delta}$  и  $H_{\tau}$  меняется в широком диапазоне (0.64—1.5) в минимуме блеска. Это же отношение во время двух вспышек равнялось 1.18 и 1.05. Во время наших наблюдений отношение эквивалентных ширин линий  $H_{\delta}$  и  $H_{\tau}$  равнялось 1.02 и 1.20, соответственно вне вспышки и в период вспышки.

Таким образом наши наблюдения подтверждают вывод, полученный ранее другими наблюдателями (см., например, [3, 4]), что во время вспышки наблюдается существенное усиление непрерывного спектра в коротковолновой области спектра (<4500 A) и значительное возрастание интенсивности эмиссионных линий. На рис. 2 отчетливо видно повышение уровня непрерывного спектра между сильными эмиссионными линиями  $H_{\delta}$  и  $H_{\epsilon}$ , а также между  $H_{\tau}$  и  $H_{\delta}$ .

Наблюдаемое нами возрастание интенсивности непрерывной эмиссии к коротким длинам волн во время вспышки YY Gem, как показали вычисления, более резкое, чем это может быть в спектре источника теплового излучения даже при бесконечно высокой температуре. Этот факт можно рассматривать как свидетельство в пользу нетепловой природы непрерывной эмиссии, возникшей в нериод вспышки. Следует добавить, что YY Gem затменная и спектрально-двойная система с периодом около 0.8 суток, причем оба ее компонента вспыхивают и имеют эмиссионный спектр в минимуме блеска [5].

Автор выражает благодарность профессору Л. В. Мирзояну за полезное обсуждение.

On the Spectrum of one Flare of YY Gem. The Spectrum of YY Gem has been observed during a flare. The increase of the continuum and emission lines have been noticed.

18 мая 1982

Бюраканская астрофизическая обсерватория

В. В. АМБАРЯН

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Харитонов. В. М. Терещенко, Л<sub>г</sub> Н. Князева, Сводный спектрофотометрический каталог эвеэд, АН Каз.ССР, Алма-Ата, 1978.

2. B. W. Bopp, Ap. J. 193, 389, 1974.

3. П. Ф. Чугайнов, Р. Е. Гершберг, Астрон. ж., 44, 260, 1967.

4. W. Kunkel, Ap. J., 161, 503, 1970.

5. T. J. Moffett, B. W. Bopp, Ap. J., 168, L117, 1971.

УДК 524.7—77

# ПОИСК ПЕРЕМЕННОСТИ РАДИОИСТОЧНИКА 3С 120 НА ЧАСТОТЕ 327 МГц. II

В работе [1] нами сообщалось о результатах первой серии наблюдений радиоисточника 3С 120 на частоте 327 МГц, проведенных в 1973 г. на Ути-радиотелескопе с целью обнаружения переменности источника в длиноволновой части радиоспектра. Несмотря на то, что эти наблюденчя не показали существенного изменения потока источника 3С 120 на этой частоте, наличие явной переменности этого источника в видимой и инфракрасной областях, а также в коротких радиоволнах побудило нас еще раз проверить наличие его переменности на указанной выше частоте для более длительного интервала времени. С этой целью в течение 1976—1981 гг. проводились 14 серий новых наблюдений этого источника на той же частоте и на том же радиотелескопе. При этом за период с марта 1976 г. по март 1977 г. наблюдения велись почти ежемесячно. Число хороших записей в каждой серии составляло не менее 4, кроме двух серий, результаты которых мы не учли при оценке фактора переменности источника (см. ниже). Измерения потока 3С 120 по прежнему проводились в относительных единицах и теми методами, которые были описаны в [1]. Источником сравнения во всех случаях служил 4С 05.16.

Результаты этих наблюдений вместе с данными, полученными в 1973 г., приведены в табл. 1, а для годового периода также на рис. 1.

			1 авлица
Дата	наблюдений	Число измерений за период	Отношение интенсивностей 3С 120 и 4С 05.16
1973	сентябрь октябрь декабрь	15 7 4	$\begin{array}{c} 0.864 \pm 0.012 \\ 0.883 \pm 0.007 \\ 0.858 \pm 0.013 \end{array}$
1976	февраль апрель май июнь июль август сентябрь октябрь ноябрь декабрь	4 5 3 5 7 4 6 4 6 9	$\begin{array}{c} 0.862 \pm 0.054 \\ 0.900 \pm 0.022 \\ 0.855 \pm 0.025 \\ 0.906 \pm 0.045 \\ 0.912 \pm 0.042 \\ 0.884 \pm 0.008 \\ 0.861 \pm 0.024 \\ 0.860 \pm 0.014 \\ 0.886 \pm 0.029 \\ 0.889 \pm 0.036 \end{array}$
1977	январь февраль	5 3	0.854±0.016 0.875 <u>+</u> 0.028
1978	октябрь	4	$0.875 \pm 0.021$
1981	февраль	4	0.836 + 0.037

Анализ данных таблицы и графика на рис. 1 показывает, что изменение потока радиоизлучения источника 3С 120 на частоте 327 МГц как в годовом, так и восьмилетнем интервалах времени не превышает  $\sim 7\%$ 



Рыс. 1.

при среднем значении среднеквадратичной ошибки отдельных серий  $\sim 3\%$ , т. е. у этого источника на частоте 327 МГц не наблюдается уверенного медленного изменения радиопотока. Правда, на рис. 1 замечается слабый регулярный ход изменения относительного потока источника 3С 120, однако его трудно считать реальным, т. к. он существенно не превышает ошибки измерения.

Поиск переменности радиоисточника 3С 120 в длинноволновой части космического радиоизлучения проводился также радиоастрономами Болонии на частоте 408 МГц [2] и НРАО одновременно на 6 частотах в интервале 321—920 МГц [3]. Они этот источник относят к числу переменных, хотя и на частотах, близких к 327 МГц — 408, 321 и 394 МГц, полученные ими результаты существенно не отличаются от наших. Для оценки переменности они вводят фактор переменности F, который определяется формулой:

$$F = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{(S_i - \overline{S})^2}{z_i^2}\right]^{1/2},$$

где  $\overline{S}$  — среднее значение измеряемого потока по всем сезонам;  $S_t$  — среднее значение измеряемого потока для данного сезона;  $\overline{s}$  — среднеквадратичная величина ошибок измерения и сезоне; N — число сезонов наблюдений. Эта формула применима, когда  $N \ge 4$ .

Переменность источника считается реальной, когда F > 1. Этот критерий достаточно хорошо выполняется для явно переменных источников.

По данным наших наблюдений на частоте 327 МГц получилось F = 0.87 для восьмилетнего и F = 0.84 для годового интервалов времени. В работе [3] на частотах 321 МГц и 394 МГц соответственно получилось F = 0.38 и F = 0.55 для четырехлетнего периода. По данным работы [2] на частоте 408 МГц получается F = 1.64 для пятилетнего интервала. Однако в этом случае, в сезоне, в основном, проводилось одно измерение, и применение приведенной выше формулы нельзя считать корректным.

Резюмируя приведенные данные, можно, как нам кажется, считать, что источник 3С 120 не является явно переменным радиоисточником в интервале длин волн более одного метра. На более коротких волнах данные о переменности этого источника не вызывают сомнений.

A Search of Variability of 3C 120 at 327 MHz. The observations at 327 MHz showed no remarkable variations of 3C 120 during eight years.

16 июля 1982

Бюраканская астрофизическая обсерватория, Радиоастрономический центр ТАТА института Индии

В. А. САНАМЯНВ. Р. ВЕНУГОПАЛ

## краткие сообщения

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Санамян, В. Р. Венугопал, Астрофизика, 11, 155, 1975.

5. C. Fanti, R. Fanti, A. Ficarra, F. Mantovani, L. Padrielli, Astron. Astrophys., Suppl. ser., 45, 61, 1981.

3. J. R. Fisher, W. C. Ericsion, Ap. J., 242, 884, 1980.

УДК 524.54

# ПЕРЕМЕННЫЕ КОМЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ

Как известно, переменность среди кометарных туманностей не являегся исключительным явлением. Сильному изменению подвергались туманности NGC 2261, NGC 1555, NGC 6729, CM 1-29, туманность около фуора V 1515 Cyg. В данной работе приводятся результаты наблюдений двух известных переменных туманностей и двух новых объектов.

Туманность № 15 из списка Парсамян и Петросян [1]. Это кометарная туманность, имеющая вид конуса (в [1] ее относят к запятым). На красной карте Паломарского атласа видимая величина звезды в вершине конуса ~  $17^m$  (эта звезда двойная), а на синей —  $18^m$  (звезда одиночная). Объект расположен в центре темной глобулы. Это описание относится к картам +  $12^{\circ}4^h0^m$  (9/10 октября 1953 г.), а на картах +  $12^{\circ}4^h24^m$  (11/12 декабря 1955 г.) и звезда, и туманность невидимы. Отсюда можно заключить, что произошло ослабление звезды на >3<sup>°</sup>. Здесь нужно отметить, что на картах +  $12^{\circ}4^h24^m$  видны более слабые звезды, чем на картах +  $12^{\circ}4^h0^m$ .

Этот объект невидим также на пластинках, полученных в первичном фокусе 2.6-м телескопа БАО (1/2 сентября 1981 г., Kodak 103 аЕ + ЖС 12, 30<sup>m</sup>; 7/8 сентября 1981 г., Zu 21, 30<sup>m</sup>). Только на пластинке, полученной в ночь с хорошей прозрачностью (25/26 ноября 1981 г., Zu 21, 35<sup>m</sup>), на месте объекта видно слабое пятно. Если это есть изображение объекта, то произошло уменьшение блеска звезды на  $\sim 3^m$  в фотографической области.

Объект, расположенный в туманности Sh 155. Светлая туманность Sh 155 составляет часть большого молекулярного облака, связанного с ассоциацией Сер OB 3. Частью этой туманности является маленькое компактное красное сгущение треугольной формы ( $\sim 1.'5$ ). На синей Паломарской карте видна половина сгущения, в этой видимой половине видны



Рис. 1. а — область, где находилась туманность РР 15 (местоположение туманности обведено кружком). 25/26 ноября 1981 г., Zu 21,  $35^m$ , 6''/мм; b — трапеция в Сер В. Стрелкой отмечена звезда с кометарной туманностью в виде запятой. 25/26 ноября 1981 г., Zu 21,  $35^m$ , 6''/мм; с — объект GM 1-29, 24/25 ноября 1981 г., Zu 21,  $35^m$ , 6''/мм; с — объект GM 1-29, 24/25 ноября 1981 г., Zu 21,  $35^m$ , 6''/мм; с — объект GM 1-29, 24/25 ноября 1981 г., Zu 21,  $35^m$ , 6''/мм.

К ст. А. Л. Гюльбудагяна

### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

две звезды. Мы сняли эту область в прямом фокусе 2.6-м телескопа БАО. Сгущение получилось в виде туманного ободка, а внутри этого ободка видны уже четыре звезды, расположенные как в Трапеции Ориона (координаты центра ободка следующие:  $\alpha_{1950} = 22^{h}55^{m}06^{s}$ ,  $\delta_{1650} = 62^{\circ}22'$ ). Расстояние до Сер ОВ 3 около 730 пс [2]. Это дает для размеров трапеции 23″ или около 17000 а.е. (у Трапеции Ориона — 11000 а.е.). На пластинках, отснятых в ночи с хорошей прозрачностью, можно увидеть связанную с одной из звезд трапеции (самой слабой на синей карте, но самой яркой на инфракрасной) кометарную туманность в виде запятой (3″ или 2000 а.е.). На Паломарских картах запятая не видна, но это может быть вследствие разницы в масштабах Паломарских карт и снимка в первич-, ном фокусе 2.6-м телескопа.

Как известно, рядом с Трапецией Ориона расположены инфракрасные источники Клайнмана—Лоу и Беклина—Нойгебауэра, в районе которых найдено множество водяных мазеров и обнаружено истечение в молекулярных линиях, то есть это активная область звездообразования. Описанная выше трапеция расположена в ~ 1' от активного центра, известного под названием Сер В. Как указано в [3], в этом центре кинетическая температура газа (<sup>12</sup>CO достигает 20 К. Масса Сер В ~ 100  $M_{\odot}$ . Нет признаков повышения плотности, выраженных в расширении линии <sup>12</sup>CO или в обнаружении на 2 мм H<sub>2</sub>CO. Однако в Сер В интенсивность <sup>12</sup>CO принимает наибольшее в облаке Сер ОВ 3 значение. Линии остаются узкими и типичны для темного облака, в котором есть одиночная звезда. Фелли и др. [4] на частоте 4.9 МГц обнаружили в Сер В тепловой источник. По Сарджент [3] здесь может быть звезда спектрального типа В 2.

Недалеко от Сер В расположены две подгруппы звезд классов О а В, принадлежащих ассоциации — более молодая и более старая. При продолжении пространственных скоростей звезд из молодой подгруппы они пересекаются в непосредственной близости от Сер В [3]. Кроме этого, рядом с Сер В расположено 5 ранних звезд, также принадлежащих ассоциации. Если принять  $A_V \approx 2^m$  (такое поглощение дано в [3] для этих 5 звезд), то для абсолютных величин звезд трапеции будем иметь  $M_{\mu V} = 3^m 5 \div 5^m 5$ , что соответствует типам F-G главной последовательности. Среди звезд, связанных с кометарными туманностями в виде запятой, в основном встречаются как раз звезды типа G.

Наличие группы типа Трапеции в непосредственной близости от активной области еще раз подтверждает справедливую идею Амбарцумяна о том, что группы типа Трапеции являются молодыми образованиями.

Объект GM 1-29. Об этой туманности подробно сказано в [5, 6], поэтому мы остановимся только на последних изменениях.

11-1019

На наших снимках этой туманности. полученных в первичном фокусе 2.6-м телескопа БАО, видно, что симметрия в околозвездном участке треугольной формы (~ 30") нарушена — западная половина почти не видна, только на некоторых снимках видна узкая полоска, окаймляющая этот треугольник с запада. Такой вид туманность имела в течение всего периода наблюдений — сентябрь-ноябрь 1981 г.

Туманность NGC 2261. Переменность этой туманности была обнаружена Хабблом в 1916 г. С тех пор она усиленно изучалась.

Эта туманность имеет вид конуса, в вершине которого находится звезда R Моп. Канто и др. [7] в результате радионаблюдений в линии CO обнаружили наличие южного конуса у R Моп, большая часть которого не видна из-за поглощения в оптике, то есть на самом деле туманность является биконусом. На снимке, полученном в первичном фокусе 2.6-м телескопа БАО, есть некоторые отличия от последнего известного нам из печати снимка NGC 2261 [8]. Эти изменения относятся к видимым деталям южного конуса. На нашем снимке (25/26 ноября 1981 г., Zu 21, 35<sup>m</sup>) луч, отходящий от R Моп в юго-западном направлении, более длинный, чем у Хербига, а пятно к юго-востоку от R Моп слабее этого луча (у Хербига наоборот).

Все вышеприведенные объекты находятся в темных облаках, в когорых, по-видимому, присутствует турбулентность (об этом могут свидетельствовать обычные для таких областей ширэкие линии излучения <sup>12</sup>СО). Вызванные турбулентностью перемещения отдельных масс облака могут вызвать изменение вида кометарной туманности из-за изменения пространственного расположения поглощающего вещества. Турбулентность может вызвать и изменение вида кометарной туманности из-за изменения поглощения в направлении на звезду (это, вероятно, имеет место в случае первого объекта, рассмотренного в данной работе). Конечно, нельзя нсдооценивать наличие основного фактора изменения вида кометарной туманности: поярчение или ослабление связанной с туманностью звезды. Возможно, одновременное действие вышеупомянутых двух факторов является причиной того, что до сих пор не найдена надежная корреляция между изменениями яркости R Моп и связанной с ней туманности NGC 2261. Однако такая корреляция найдена для кометарной туманности в виде кольца и связанной с ней звезды V 1057 Cyg [9].

По нашей просьбе Родригес на 32-м радиотелесколе в Хейстеке пронаблюдал в линии <sup>12</sup>СО объект GM 1-29. Полученный контур радиолинии имеет вид узкого пика с крылом, расположенным в области отрицательных скоростей. Ширина этого крыла 4 км/с. Если предположить, что все облако излучаег в виде узкого пика, то крыло является выражением вышеупомянутой турбулентности или систематического истечения к наблюдателю.

Изменения конических кометарных туманностей не противоречат ни нашей модели, предложенной в [10], ни модели Канто и др. [7]. Нами было предложено, что конус образуется в результате вращения звезды, у которой выбрасывается струя вещества под острым углом к оси вращения. Канто и Родригес предлагают модель выдувания вещества звездою из окружающего ее темного облака и затем освещения звездой внутренней поверхности этой полости. Здесь нужно отметить, что вопреки второй модели имеются конические туманности (GM 1-27, GM 1-20), которые расположены прямо на границе темных каналов.

Автор выражает искреннюю благодарность академику В. А. Амбарцумяну за постоянный интерес и внимание к работе, а также доктору Л. Ф. Родригесу за проведение радионаблюдений.

Variable Cometary Nebulae. Results of observations of two known variable objects – NGC 2261 and GM 1-29 and objects whose variability was unknown (the object in S 155 and PP 15) are given. All the plates are odtained in prime focus of Byurakan 2.6 m telescope.

24 мая 1982

Бюраканская астрофизическая обсерватория

А. Л. ГЮЛЬБУДАГЯН

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э. С. Парсамян, В. М. Петросян, Сообщ. Бюраканскії обс., 51, 3, 1979.

2, D. L. Crawford, J. V. Barnes, A. J., 75, 952, 1970.

3. A. J. Sargent, Ap. J. 233, 163, 1979.

4. M. Felli, G. Tofani. R. H. Harten, N. Panagia, Astron. Astrophys. 69, 199, 1978.

5. А. Л. Гюльбудагян, А. С. Амирханян, в сб. «Вспыхивающие звезды», под ред. Л. В. Мирзояна, Ереван, 1977, стр. 127.

6. M. Cohen, Ap. J., 245, 920, 1981.

7. J. Canto, L. F. Rodriguez, J. F. Barrall, P. Carral, Ap. J., 244, 102, 1981.

8. G H. Herbig, Ap. J., 152, 439, 1968.

9. D. K. Duncan, E. A. Harlan, G. H. Herbig, A. J., 86, 1520, 1981.

10. А. Л. Гюльбудалян, Астрон. цирк. № 967, 1977.

УДК 524.54—355

# СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДРА КОМЕТАРНОЙ ТУМАННОСТИ Р 17

1. Введение и наблюдательный материал. Кометарные туманности представляют собою особую группу среди диффузных туманностей. В большинстве случаев они связаны с переменными типа Т Тельца или с пекулярными звездами спектральных классов Ве—Ае [1, 2].

Туманность Р 17 [3] входит в «Каталог кометарных туманностей и родственных объектов» под номером 67 [4]. На рис. 1 приведен снимок туманности, полученный на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории в *В*-лучах: она имеет форму треугольника со сторонами 0.4, 0.6, 0.7.

Наблюдения туманности Р 17 впервые были проведены Мендесом и Парсамян [5]. Спектр туманности оказался непрерывным, с максимумом интенсивности у  $\lambda$  4700, без следов каких-либо линий.

На рис. 1 єндно, что ядром туманности Р 17 является объект, нахоаящийся в юго-западном углу туманности, вблизи которого поверхностная яркость самая высокая<sup>\*</sup>. Согласно [6] это звездообразный объект, у которого распределение энергии в области 2.2 - 10 мк плоское, что характерно для многих кометарных туманностей. Переменность этого ядра была обнаружена Хоффмейстером [7]: его блеск менялся в пределах  $14^m - 15^m 5$ .

В настоящей работе приводятся результаты спектрального исследования ядра Р 17.

<b>A</b> ara	Спектр. диапазон (А)	Экспозиция (мин)
16.12.79	5900-7100	; 20
18.12.79		15
*1	4830-6290	15
	3800-4970	15
21.02.80	5900-7100	30
	4650-6000	20
99		30
	3800-4970	30
22.02.80		17
01.12.80	5900-7100	30

Таблица 1 СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯДРА ТУМАННОСТИ Р 17

Наблюдательный материал был получен на 6-м телескопе САО АН СССР со спектрографом СП 160 и с ЭОП М9ЩВ, с дисперсией 65 А/мм (разрешение 5А).

Данные о полученных спектрах приведены в табл. 1.

На регистрограммах спектров, полученных на микрофотометре ИФО-451 Бюраканской обсерватории, было выявлено 30 линий, длины

\* За ядро туманности Р 17 в [5] был принят объект, находящийся в ее апексе.



Рис. 1. Туманность Р 17 в В-лучах (масштаб 2.5"/мм).

К ст. В. М. Петросян
#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

волн которых были измерены на измерительнов приборе \*Askorecord" с точностью порядка 2А. Отождествление их производилось по таблицам [8, 9].

В результате в спектре ядра Р 17 были отождествлены линии поглощения водорода (H<sub>2</sub>, H<sub>1</sub>, H<sub>6</sub>, H<sub>4</sub>) и металлов (Fe I, Fe II, Ti I, Ti II, Ca I, Ca II, Cr II, Na I), а также эмиссионная линия H<sub>a</sub>.

Таблица 2

Измеренная дляна волны (А)	Лабор. длина волны (А)	Элемент	₩^A (A)
6505.5	6508.13	Ti I	1.4±0.3
6493.6	6494.38	Fel	1.6±0.2
6454.0	6456.38	Fell	0.7+0.2
6248.0	6247.56	Fell	$1.2 \pm 0.1$
6162.0	6162.17	Cal	0.8 <u>±</u> 0.2
6145.9	6147.73	Fe II	2.6±0.4
	5895.93+5889.75	$Na I(D_1 + D_2)$	передержка
5338.3	5339.94	Fel	1.9+0.2
5252.8	5254.95+5253.48	Fel	1.2+0.2
5234.0	5232.94	Fe I	$1.4 \pm 0.2$
5208.0	5210.39+5208.6	Ti I+Fe I	$1.4 \pm 0.2$
5186.1	5188.7	Ті Н	1.3±0.2
5170.1	5169.03-+5167.49	Fe I	3.9 <del>1</del> 0.4
5152.2	5151.9+5150.8	Fel	0.9 <u>+</u> 0.1
5129.2	5131.47 + 5127.36	Fel	0.7±0.1
5114.3	5113.44	TiI	0.8±0.2
4923.5	4923.92	Fe II	2.0 <u>+</u> 0.3
4884.2	4885.09	Tif	$1.7 \pm 0.3$
4862.5	4851.33	Ha	5.0±0.4
4731.7	4731.44	Fell	0.8+0.1
4586.6	4588.22	Cr II	$0.4 \pm 0.1$
4556.7	4558.66	CrII	3.9 <del>+</del> 0.2
4528,8	4528.62+4527.31	Fel+Til	4.2+0.3
4520.7	4522,63+4520,23	Fe II	1.0+0.1
4487.0	4489.18	Fell	2.7+0.2
4343.0	4340.47	H <sub>1</sub>	6.3+0.5
4307.0	4315-4305	С-полоса	8.0±0.4
- C	4101.74	Ha	2.9
second a state of	3970.07+3968.47	He + HCa II	недодержка
100	3933.67	K Call	недодержка

ЛИНИИ, ОБНАРУЖЕННЫЕ В СПЕКТРЕ ЯДРА ТУМАННОСТИ Р 17

В табл. 2 приведены измеренные длины волн линий поглощения, лабораторные длины волн, соответствующие им химические элементы и их эквивалентные ширины.



Рис. 2. Профиль линии Ha (16.12.79).

На рис. 2 представлен профиль линии H<sub>4</sub> (16.12.79 г.), имеющей два эмиссионных компонента неодинаковой интенсивности. Длинноволновый компонент линии в пределах ошибок соответствует нормальному положению H<sub>4</sub>, а смещение коротковолнового компонента соответствует  $V_r = -320 \pm 70$  км/с.

Наши наблюдения показали, что  $H_{\alpha}$  меняет свою интенсивность (табл. 3).

АБЛЮДЕНИЯ ЭМИССИОННОЙ ЛИНИИ Н		
• Дата	₩ <sub>λ</sub> (A)	
17.12.79	14.0	
18.12.79	6.5	
21.02.80	5.7	
01.12.80	9.0	

Таблица 3 НАБЛЮДЕНИЯ ЭМИССИОННОЙ ЛИНИИ На

2. Обсуждение. Наличие эмиссии в линии Н<sub>α</sub>, ее сложный профиль, изменение интенсивности Н<sub>п</sub> во времени свидетельствует о существования расширяющейся неоднородной газовой оболочки вокруг ядра Р 17.

Существование неоднородной газовой оболочки вокруг ядра Р 17 позволяет его считать молодым объектом, что характерно для ядра кометарных туманностей, а распределение энергии в спектре самой туманности [5], вероятно, указывает на физическую связь туманности с исследуемой звездой, которую можно отнести к спектральным классам Ae—Fe.

Как известно, ядра многих кометарных туманностей (R Mon [2, 10], I.<sub>x</sub>H<sub>4</sub> 198 [2], T Ori [2], HK Ori, L<sub>x</sub>H<sub>4</sub> 208 [11], ядро P21 [12] и др.) отнесены к спектральным классам Ас или Fpe, с характерной эмиссией в линии H<sub>4</sub>, переменной во времени. В заключение автор выражает благодарность Э. С. Парсамян за руководство настоящей работой, Л. В. Мирзояну за ценные замечания, а также А. Буренкову за помощь при наблюдениях.

Investigation of the Nucleus of the Cometary Nebulae P 17. The spectroscopic observations of the nucleus of the cometary nebulae P 17 carried out with 6 m telescope. Double components of  $H_3$  emission line have been detected.

10 февраля 1982

Бюраканская астрофизическая обсерватория

В. М. ПЕТРОСЯН

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. В. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюраканской обс., 13, 1954.
- 2. G. Herbig, Ap. I., Suppl. ser., 4, 337, 1960.
- 3. Э. С. Парсамян, Изв. АН Арм.ССР. сер. физ.-мат. наук, 18, 146, 1965.
- 4. Э. С. Парсамян. В. М. Петросян, Сообщ. Бюраканской обс., 51, 1979.
- 5. М. Мендес, Э. С. Парсамян, Сообщ. Бюраканской обс., 10, 65, 1974.
- 6. M. Cohen., P. A. S. P., 86, 813, 1974.
- 7. C. Hoffmeister, IAU Circ., No. 1996, 1967.
- 8. А. Зайдель, В. К. Прокофьев, С. М. Райский, В. А. Славный, Е. Я. Шрейдер, Таблицы спектральных линий, Физматгиз, М., 1969.
- 9. П. Меррил. Линни химических элементов в астрономических спектрах. Физматгиз. М., 1959.
- 10. Дж. Л. Гринстейн, М. А. Казарян, Т. Ю. Магакян, Э. Е. Хачикян, Астрофизика 12, 587, 1976.
- 11. G. H. Herbig, N. K Rao, Ap. J., 174, 401, 1972.
- 12. Э. С. Парсамян, В. М. Петросян, в сб. «Вспыхивающие звезды, фуоры и объекты Хербига—Аро», Изд-во АН Арм.ССР, 1980. стр. 281.

# АСТРОФИЗИКА

**TOM 18** 

НОЯБРЬ, 1982

выпуск 4

УДК 524.4

РЕЦЕНЗИИ

П. Н. ХОЛОПОВ, Звездные скопления, М., Наука, 1981, 497 стр.. 165 иллюстраций.

Необходимость монографии, посвященной звездныс скоплениям, давно назрела. Разнообразный наблюдательный материал, накопленный относительно этих систем совместно возникших звезд, требует надлежащего обобщения и правильного теоретического истолкования, что может иметь серьезное значение и для проблемы происхождения и эволюции как самих звездных скоплений, так и звезд вообще. Естественно, что выход каждой книги по этому вопросу вызывает значительный интерес. Определенные надежды были связаны и с появившейся недавно книгой П. А. Холопова «Звездные скопления».

Подробное ознакомление с этой книгой показывает, что она представляет собой довольно подробный, но далеко не полный и односторонне составленный справочник по звездным скоплениям. Тем не менее, как справочник это пособие может быть полезным. Что касается обобщений и важных вопросов, связанных со строением, динамикой и эволюцией звездных скоплений, то приходится констатировать, что она содержит крупные недостатки. Так как рассмотрение всех недостатков книги невозможно, то мы ограничимся указанием лишь на некоторые из них.

Начнем с главы «Динамика звездных скоплений» (стр. 345). Вся глава написана на низком научном уровне. В ней нельзя найти четкой формулировки о том, что звездное скопление конечной массы не может находиться в статистическом равновесни. Между тем, именно из-за этого факта возникают многие проблемы, осложняющие динамику звездных скоплений. Поэтому читателю не сразу становится ясным, почему в динамихе звездных скоплений приходится с самого начала ставить сложные вопросы изменений строения скопления во времени, т. е. следить за изменением фазовой плотности в нем. Если бы это было объяснено в книге, то стало бы ясно, например, почему так важно вычисление времени релаксации. Яснее были бы и выводы о неминуемом распаде звездных скоплений. Вместе с этим в этой главе много внимания уделено мелочам. Приведем пример поверхностного отношения к вопросам динамики звездных скоплений.

На стр. 356 этой главы после формулы (9.27) для средней квадратичной скорости  $m_1 \langle V^2(m_1) \rangle = m_2 \langle V^2(m_2) \rangle$ , со ссылкой на расчеты Вилена на ЭВМ, утверждается, что равнораспределение в скоплении не сохраняется. Между тем, не было нужды обращаться к ЭВМ. Ведь из этой формулы (9.27) прямо следует, что при равнораспределении почти все звезды скопления с массой, скажем, в три раза меньше средней, будут обладать скоростями, достаточными, чтобы покинуть систему.

В главе «Переменные звезды в звездных скоплениях» (стр. 195) отсутствует изложение современных представлений о важной эволюционной роли звезд типл Т Тельца и UV Кита в молодых скоплениях (и ассоциациях). Более того, в ней практически нет ни одного слова о звездах типа Т Тельца, а вспыхивающим звездам посвящено меньше полстраницы. В этой главе, как и во всей книге, чувствуется стремление автора излагать только результаты, которые не противоречат его своеобразным взглядам на природу и эволюцию скоплений.

На очень низком уровне дается изложение кратных систем типа Трапеции. Читателю не сообщается, что эти объекты по своей природе похожи на скопления, только имеют мало членов. То обстоятельство, что системы типа Трапеции часто входят в скопления, не может приуменьшить значения факта существования Трапеций. Из изложения автора остается впечатление, что звездные цепочки — это нечто принципиально отличное от систем типа Трапеции. Между тем, они тоже являются системами типэ Трапеции.

В книге бросается в глаза субъективное отношение автора к работам по рассматриваемой тематике. Приведем два примера, подтверждающие сказанное.

В разделе, посвященном методам определения звездной плотности в скоплениях (стр. 298) даже не упоминается точный метод, который основывается на двумерном распределении звезд на небесной сфере [1], в то время как подробно излагаются менее точные методы. Формула (9.28) для времени релаксации в звездном скоплении практически совпадает с формулой (6) работы Амбарцумяна [2], но приписана другому автору. Неужели из-за небольшого различия в значениях постоянных множителей!

Если такие «упущения» можно простить, то недопустимо, когда автор результаты других ученых излагает как свои собственные.

Например, на стр. 431 утверждается, что все слабые члены скопления Плеяды с  $M_{*}$  — 6.6 являются вспыхивающими звездами. Читателю не объясняется, как удалось получить этот важный вывод, где впервые это было показано. А дело просто в том, что этот результат получен не авто-

ром, хотя соответствующие ссылки в книге отсутствуют (об этом результате см., например, [3]).

Далее, чуть ниже, опять без ссылок (хотя и этот результат получен не автором книги, см., например [4]), констатируется: «... с увеличением возраста скопления вспыхивающими звездами продолжают оставаться все более и более слабые его члены, находящиеся на главной последовательности». Отметим, кстати, что вспыхивающие звезды расположены не на главной последовательности, а в области, примыкающей сверху и снизу к главной последовательности, причем, как впервые показали Аро и Чавира [4], отклонения от нее убывают с увеличением возраста скопления.

Можно было подумать, что отсутствие ссылок обусловлено стремлением автора экономить место. Чем же тогда объяснить изумляющее обилие ссылок на собственные работы или работы автора книги с соавторами (более 40 ссылок на себя, т. е. больше, чем ссылок на работы первых пяти из наиболее цитируемых советских авторов, вместе взятых).

Странное впечатление оставляет глава «Возникновение и эволюция звездных скоплений». В этой главе П. Н. Холопов всячески отрекается от общепризнанного значения открытия и исследования звездных ассоциаций в Бюракане. Вместе с этим в ней он основное внимание уделяет обоснованию своей «концепции» о природе звездных ассоциаций и об эволюции звезд. Эта концепция безо всякого обоснования уже несколько лет усердно рекламируется им и не только среди специалистов (см., например. [5]).

Основные положения «концепции» П. Н. Холопова сводятся к утверждениям, что звездные ассоциации и наблюдаемые в их составе кратные системы — динамически устойчивы. Поэтому звездные ассоциации — это самые обычные звездные скопления, находящиеся на самой ранней стадии своего развития.

Относительно первого (практически главного, так как второе положение является его следствием) из этих положений следует сказать, что оно противоречит наблюдениям. Эдесь не место подробно останавливаться на этом принципиальном вопросе (об истории и современном состоянии вопроса см. подробнее в [6—8]). Отметим только, что изучение собственных движений звезд в ближайших ассоциациях показывает, что у всех них. в той или иной форме, наблюдаются явления расширения. (В книге П. Н. Холопова «забыты» даже работы его ближайшего соавтора Н. М. Артюхиной о расширении ассоциации Цефей II). Если прибавить к этому данные о лучевых скоростях, то картина становится еще более определенной. Что касается динамической неустойчивости кратных систем типа Трапеции, то об этом свидетельствуст, например, тот наблюдательный факт, что реальные Трапеции встречаются в подавляющем большинстве случаев среди кратных звезд. наиболее яркие члены которых принадлежат спектральным

классам О-В, т. е. являются молодыми звездами (об этом и других аргументах в пользу динамической неустойчивости Трапеций см. в [7]).

Чтобы оценить уровень аргументов, приведенных П. Н. Холоповым против распада OB-ассоциаций, рассмотрим, как он справляется с результатом Блаау о расширении ассоциации Per OB2. П. Н. Холопов считает что если масса ассоциации окажется достаточно большой, то, поскольку это может в будущем задержать звезды внутри ассоциации, значение расширения для проблемы возникновения звездных ассоциаций будет подорвано. Конечно, это наивно, так как расширение обнаружено из наблюдений и само по себе означает нестационарность системы. Поэтому расширение уже говорит о молодости системы. Если даже в угоду автору предположить, что это расширение когда-нибудь прекратится, то все равно наблюдаемое ныне расширение является прямым свидетельством молодости.

Но дело не только в этом. На стр. 414, с целью убедить читателя в большом значении массы Рег OB2, он пишет про эту ассоциацию: «Оча связана с большим газово-пылевым облаком, минимальное значение полной массы которого может составить 190 000 масс Солнца». Между тем известно, что пока наиболее прямым и надежным способом оценки масс таких облаков являются измерения в линиях Бальмера, в линии 21 см нейтрального водорода и в линии СО. Такая оценка была сделана недавно Сарджентом [9] и показывает, что масса рассматриваемого облака равняется всего 12 000 солнечных масс. Таким образом, при размерах облака в проекции  $30 \times 60$  пс<sup>2</sup> получается скорость отрыва порядка 2 км/с. Следовательно, все, что движется со скоростью более 3 км/с по отношению к центру тяжести ассоциации, должно уходить из нее. Поскольку и в облаке имеются разности скоростей, превосходящие эту величину, то не только звезды ассоциации, но и оно само должно расширяться и разлететься.

Это, истати, неплохая иллюстрация к лелеемой автором мысли (стр. 416): «Вначале был коллапс».

Не станем продолжать. Отметим лишь, что вся «научная» часть возражений П. Н. Холопова против расширения OB-ассоциаций носит столь же примитивный характер.

Второе положение П. Н. Холопова, как уже было отмечено, является следствием предыдущего положения и не заслуживает отдельного рассмотрения.

Менее принципиальными являются утверждения П. Н. Холопова о том, что звездные ассоциации были открыты задолго до их «переоткрытия» в Бюракане, а идея о продолжающемся в настоящее время процессе звездообразования в Галактике в 40-х годах нашего столетия (до бюраканских работ по звездным ассоциациям) была высказана Спитцером и Уипплем.

Оба эти утверждения являются результатом искажения исторических фактов. Так, Струве, который еще в 1928 г. действително открыл (что справедливо отмечено в рецензируемой книге) некоторые группировки О-В звезд, посвятил, после открытия в 1947 г. В. А. Амбарцумяном звездных ассоциаций — очагов формирования звезд в современную эпоху, этому событию (настолько идея о крайней молодости этих систем была нова) специальную статью [10], тем самым подтвердив приоритет открытия. Только не вникая (хуже, если это делается преднамеренно) в различие между значениями, которые вкладываются в выражения «группировки звезд» и «звездные ассоциации как области звездообразования», можно придти к упомянутому утверждению.

Далее, как показали наши поиски в указанных П. Н. Холоповым работах Спитцера и Уиппла (стр. 406), их авторы вывода о продолжающемся в нашу эпоху в Галактике процессе звездообразования не высказывали. Правда, если даже допустить, что прав все же П. Н. Холопов, то от этого ничего не изменится. Ведь одно дело высказать новую идею и совершенно другое — научно ее обосновать на основе фактических данных.

В книге П. Н. Холопова встречаются и другие примеры искажения исторических фактов. Например, на стр. 406 утверждается, что ассоциации содержат лишь звезды, определяющие тип ассоциаций. Причем, эта мысль прилисывается В. А. Амбарцумяну. Между тем, в первой же работе [11], где был введен термин «звездные ассоциации», говоряя об ассоциации вокруг h и  $\chi$  Персея, черным по белому написано о возможности присутствия в ней многих звезд других спектральных типов.

И в последующем ни В. А. Амбарцумян, ни его ученики не отрицали присутствия в ассоциациях звезд других типов (см., например, [12]).

Стоит обратить внимание и на. мягко говоря, необычную манеру ведения научного спора, характерную для П. Н. Холопова. Например, чтобы придать больше веса своим рассуждениям, он на стр. 408 пишет. «... концепция Амбарцумяна... - была подвергнута последовательной и во многом справедливой критике...». Дальше не следует ни одного слова с конкретной критике. Естественно спросить, в чем состояла эта критика. Очевидно, П. Н. Холопову было бы нелегко привести суть этой критики по той простой причине, что содержавшиеся в ней главные возражения (ассоциации не реальные системы, а вереницы О-В звезд, наблюдаемых в областях с малым межзвездным поглощением — в окнах прозрачности. О,В звезды — это не молодые звезды, а бывшие карлики, поглотившие окружающую межавездную материю; наблюдаемое расширение ассоциаций — результат проектирования на небе нескольких групп звезд, движушихся в разных направлениях и т. д.) оппонентов Амбарцумяна в настояшее время не поддерживаются никем, в том числе, по-видимому, и самим П. Н. Холоповым.

Уместно закончить рецензию на книгу «Звездные скопления» словами из ее введении (стр. 15): «Наглядно показывая судьбу многих безапелляционных высказываний и пророчеств, история помогает каждому из нас. выражаясь словами Генриха Бёлля, «никогда не принимать самого себя слишком всерьез, не слишком много думать о себе». По-видимому, П. Н. Холопов действительно не подумал о себе, переписывая эту фразу.

л. в. мирзоян

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. М. А. Мнацаканян, ДАН Арм.ССР, 49, 33, 1969.
- 2. В. А. Амбарцумян, Уч. зап. ЛГУ, № 22, 19, 1938.
- 3. В. А. Амбаруумян. Звезды, туманности, галактики, Бюраканский симпозиум, АН Арм.ССР, Ереван, 1969, стр. 283.
- 4. G. Haro. E. Chavira, Vistas in Astronomy, vol. 8, ed. A. Beer, K. Aa. Strand, Pergamon Press, London, 1966, p. 89.
- 5. П. Н. Холопов, Астрономический календарь, М., 1978.
- 6. A. Blaauw, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 2, 213, 1964.
- 7. Л. В. Мирзоян, Нестационарность и эволюция звезя, АН Арм.ССР, Ереван, 1981.
- 8. A. Blaauw, Problems of Physics and Evolution of the Universe, ed. L. V. Mirzovan, Ac. Sci. Armenian SSR, Yerevan, 1978, p. 101.
- 9. A. I. Sargent, Ap. J., 233, 163, 1979. -
- 10. O. Struve. Sky and Telescope, 8, No. 9, 1949, p. 215.
- 11. В. А. Амбарцумян, Эволюция эвезд и астрофизика, АН Арм.ССР, Ереван, 1947.
- 12. В. А. Амбарцумян, Доклад на VIII съезде МАС, Рим, 1952, Изд. АН СССР, М. 1952.

Vennik J., Kaazik A. Radial velocities of galaxies in the vicinity of groups of galaxies. 1
Vennik J., Kaazik A., Amtrkhantan A. Radial velocities of galaxies in the vicinity of groups of galaxies. II • • • • • • • • • • • • 533
Venugopal V. R. (see Sanamian V. A.)
Venugopal V. R. (see Sanamian V. A.) • • • • • • • • • 657
Voschinnikov N. V., Ilyin V. B. Plank mean cross sections for radiation pres- sure for nonspherical grains. I.
Yakovlev D. G. (see Pavlov G. G.) · · · · · · · · · · · 119
Yegiazurian A. A. (see Khachikian E. Ye.) · · · · · · 541
Zubotin N. A., Marochnik L. S., Naselsky P. D. Inhomogeneity of the early universe and formation of primordial black holes 161
Zabotin N. A., Naselsky P. D. "Stiff" universe and the mass spectrum of pri- mordial black holes · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Zajtseva G. V. Photomotric propertiss of RY Tauri

## ЖУРНАЛА «АСТРОФИЗИКА», ТОМ 18. 1982 ГОД

Абрамян М. Г. К теории устойчивости плоских подсистем галактик	350
Австисян В. Э., Мелик-Алавердян Ю. К. Молекулярные полосы поглощения в ИК-спектрах М-гигантов.	<b>38</b> 6
Амбарян В. В. О спектре одной вспышки звезды YY Cem	654
Амирханян А. С., Газен-Торн В. А., Решетников В. П. Спектральные наблюдения галактики М 82.	31
Амирханян А. С. (см. Венник Я.)	523
Андреасян Н. К., Хачикян Э. Е. Об особенности кривой вращения галактики NGC 2814	337
Андреасян Р. Р. Исследование магнитного поля галактики	255
Артюх В. А., Кандалян Р. А., Озаннисян М. А., Санамян В. А. Наблюдения галактик с УФ-континуумом на частоте 102 МГц	215
Афанасьев В. Л., Денисюк Э. К., Липовецкий В. А., Шаповалова А. И. Яркие эмиссионные линии в новых сейфертовских галактиках	329
Багри Д. С. (см. Санамян В. А.)	651
Барышев Ю. В. О гравитационном излучении двойной системы с пульсаром • PSR 1913+16	93
Бескин В. С. К вопросу о рождении частиц в сильном магнитиом поле.	439
Бёрнтен Ф., Каллоглян А. Т. Морфология компактных галактик. П	17
Боярчук А. А., Любимков Л. С. Атмосфера Канопуса. І. Модель атмосферы н распределение турбулентности	375
Боярчук А. А. (см. Любимков Л. С.)	59 <b>7</b>
Вайнер Б. В., Щскинов Ю. А. Галактическое содержание дейтерия-тест для космологических моделей.	143
Варшалович Д. А. (см. Левшаков С. А.)	49
Венник Я., Каазик А. Лучевые скорости галактик в окрестностях групп галак- тик. I	523
Венник Я., Каазик А., Амирханян А. С. Лучевые скорости галактик в окрестно- стях групп галактик. П.	533

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	675
Венугопал В. Р. (см. Санамян В. А.)	651
Венугопал В. Р. (см. Санамян В. А.)	657
Воронцов-Вельяминов Б. А. Новый взгляд на происхождение комет и других малых тел	450
Вощинников Н. В., Ильин В. Б. Планковские средние сечения лучевого давления для несферических пылинок. 1	616
Всехсвятский С. К. О значении последних открытий в солнечной системе .	455
Газен-Торн В. А., Шевченко И. И. Оптическая переменность и радноструктура внегалактических источников	245
Газен-Торн В. А. (см. Амирханян А. С.)	31
Горбацкий В. Г. О воэможности выметакия газа из галактики под действием давления излучения активного ядра	234
Губанов А. Г. Наблюдения скопления галактик в Волосах Вероники (А 1656) на частоте 102.5 МГц.	177
Гурзадян Г. А., Епремян Р. А., Оганесян Дж. Б., Рустамбекова С. С. Абсолют- ные монохроматические потоки в ультрафиолетовых спектрах звезд по данным «Ориона-2».	398
Гюльбудагян А. Л. Переменные комстарные туманности	660
Денискок Э. К. (см. Афанасьев В. Л.)	329
Диван Л. (см. Шалонж Д.)	263
Досталь В. А. Физические условия во взаимодействующих галактиках, компо- нентах изолированных пар и изолированных галактиках	201
Егиазарян А. А. (см. Хачикян Э. Е.)	541
Епремян Р. А. (см. Гурзалян Г. А.)	398
Заботин Н. А., Марочник Л. С., Насельский П. Д. Неоднородность ранней Вселенной и образование первичных черных дыр	161
Заботин Н. А., Насельский П. Д. «Предельно-жесткая» Вселенная и спектр масс первичных черных дыр	311
Зайцева Г. В. Фотометрические ссобенности RY Тельца	67
Ильин В. Б. (см. Воцинников Н. В.)	616
Иыэвээр М. Аномальные покраскения сверхновых эвезд	57.1
Каазик А. (см. Венник Я.)	523-
Каазик А. (см. Венник Я.)	533
Казарян М. А., Томазян В. С. Спектральное и морфологическое исследование галактик с UV-избытком. IV	192
Казалян М. А., Казарян Э. С. Новые галактики с UV-избытком. IV	512

Казарян Э. С. (см. Казарян М. А.)	512
Каллоглян А. Т. (см. Бёрнгеен Ф.)	17
Каминкер А. Д., Павлов Г. Г., Силантьев Н. А., Шибанов Ю. А. Приближенные методы решения задач переноса излучения в холодной плазме с сильным магнитным полем.	283
Кандалян Р. А. Функция радносветимости сейфертовских галактик	580
Кандалян Р. А. (см. Астюх В. А.)	215
Кандалян Р. А. (см. Санамян В А.).	651
Карачениев И. Л. Виональная масса и светимость скопления галактик в Леве	501
Карачениев И. А. (см. Карачениева В. Е.)	5
Караченцева В. Е., Караченцев И. Д. Изолнрованные триплеты галактик. Ви- риальные отношения масса—светимость .	5
Коджоян Г., Товмасян Г. М. Радионаблюдения взаимодействующих галактик NGC 7714 (Маркарян 538) — NGC 7715 (Арп 284, VV 51) и квазара UB1	343
Корчагин В. И., Шсвелсв Ю. Г. Численное исследование генерации глобальной спиральной структуры во взаимодействующих галактиках	589
Кун М. Новые Н <sub>и</sub> эмиссионные звезды в области галактических темных туман- ностей	63
Левшаков С. А., Варшалович Д. А. Анализ абсорбционных спектров одиннадца- ти квазаров с Ze > 2	49
Леушин В. В., Соколов В. В., Топильская Г. П. Влияние содержания легко иони- зусмого элемента на атмосферы звезд.	423
Липовецкий В. А. (см. Афанасьев В. Л.)	329
Ломалзе Р. Д. Черенковский эффект и плазменный турбулентный реактор	641
Лоскутов В. М., Соболев В. В. О поляризации излучения рентгеновских источ- ников	81
Любимков Л. С., Боярчук А. А. Атмосфера Канопуса. II. Химический состав. Определение массы, радиуса, светимости и возраста.	597
Любимков Л. С. (см. Боярчук А. А.)	375
Малов И. Ф., Сулсиманова С. А. Два типа пульсаров?	10 <b>7</b>
Малумян В. Г., Оганян Г. А. Наблюдения галактик высокой поверхностной яр- кости на частоте 3.66 ГГц. II	324
Марочник Л. С. (см. Заботин Н. А.)	161
Марсаков В. А., Сучков А. А. Градиент металличности в Галактике и его про- исхождение	36 <b>7</b>

Мелик-Алавердян Ю. К., Мовсесян Т. А. Инфракрасные избытки звезд с соб- ственной поляризацией	275
Мслик-Алавердян Ю. К. (см. Аветисян В. З.)	386
<i>Мирзоян Л. В.</i> Звезды типа Т Тельца и родственные объекты	463
Мирзоян Л. В. «П. Н. Холопов. Звездные скопления» (рецензия)	668
Мирзоян Л. В. (см. Шалонж Д.)	263
<i>Мнацаканян Р. Г.</i> О частоте вслышек сверхновых в галактиках типа Sc	563
Мовсесян Т. А. (см. Мелик-Алавердян Ю. К.)	275
Назирнер Д. И. Точные решения уравнения переноса излучения в линии при частичном перераспределении по частоте	603
Насельский П. Д. Флуктуации температуры реликтового излучения в энтропий- ной теории образования галактик	356
Насельский П. Д. (см. Заботин Н. А.)	161
Насельский П. Д. (см. Заботин Н. А.)	311
Оганесян Дж. Б. (см. Гурзадян Г. А.).	398
Оганесян Р. Х. Переменность в спектре звезды HD 218875	<b>4</b> 60
Отаннисян М. А. (см. Артюх В. А.).	215
Отанян Г. А. (см. Малумян В. Г.)	324
Павлов Г. Г., Яковлев Д. Г. Влияние поляризации вакуума магнитным полем на лучистую теплопроводность поверхностных слоев нейтронных звезд.	119
Павлов Г. Г. (см. Каминкер А. Д.)	283
Памятных Е. А. О возможном механизме изменения периода пульсаров	10!
Петросян А. Р. К ьопросу о связи сейфертовских галактик с соседними объектами	548
Петросян В. М. Сиектральное исследование ядра кометарной туманности Р 17.	664
Попов В. Н. (см. Хачикян Э. Е.)	541
Решетников В. П. (см. Амирханян А. С.).	31
Рустамбекова С. С. (см. Гурзалян Г. А.)	398
Санамян В. А., Венузопал В. Р. Поиск переменности радиоисточника 3С 120 на частоте 327 МГц. II	65 <b>7</b>
Санамян В. А., Кандалян Р. А., Венугопал В. Р., Багри Д. С. Наблюдения галактик с ультрафиолетовым континуумом на частоте 327 МГц.	651
Санамян В. А. (см. Артюх В. А.).	215
Седракян Д. М. Магнитное поле пульсаров	417

Сидоров К. А. Влияние вращения и двойственности на частоту радиальных ко- лебаний однородной звезды	15*
Силантьсв Н. А. (см. Каминкер А. Д.)	283
Соболев В. В. (см. Лоскутов В. М.)	81
Соколов В. В. (см. Леушин В. В.).	423
Соловьев А. А. Инвариантные структуры магнитного жгута	300
Сулейманова С. А. (см. Малов И. Ф.)	107
Сучков А.А., Щекинов Ю. А., Элельман М. А. Столкновения массивных газовых облаков с первичным химическим составом: динамика и звездообразование.	629
Сучков А. А. (см. Марсаков В. А.)	367
Тамазян В. С. (см. Казарян М. А.)	192
Товмасян Г. М. Еще о радионзлучении ядер спиральных галактик	25
<i>Тоимасян Г. М.</i> Об активности ядер галактик в двойных системах	227
Товмасян Г. М. (см. Колжоян Г.)	343
Топильская Г. П. (см. Леушин В. В.).	423
Урпин В. А. Конвекция в вырожденных оболочках нейтронных звезд	133
Фессико Б. И. Галактики с сильно вытянутыми изображениями	37
Хачикян Э. Е., Попов В. Н., Егиазарян А. А. О Маркарян 6 и вопрос о проме- жуточном классе Sy 1.5	541
Хачикян Э. Е. (см. Андреасян Н. К.)	337
Шалонж Д., Диван Л., Мирзоян Л. В. Спектрофотометрическое излучение не- стационарных звезд. IV. О спектре V 1057 Лебедя	263
Шаповалова А. Н. (см. Афанасьев В. Л.)	329
Шевелев Ю. Г. (см. Корчагин В. И.)	589
Шсвченко И. И. (см. Гаген-Торн В. А.)	245
Шибанов Ю. А. (см. Каминкер А. Д.)	283
Щекинов Ю. А. (см. Вайнер Б. В.).	143
Шскинов Ю. А. (см. Сучков А. А.).	629
Элельман М. А. (см. Сучков А. А.)	629
Яковлев Д. Г. (см. Павлов Г. Г.).	119

## ЖУРНАЛА «АСТРОФИЗИКА», ТОМ 18 за 1982 год

Выпуск 1

Изолированные триплеты галактик. Вириальные отношения масса—светимость В. Е. Карачениева, И. Л. Карачениева	5
Морфология компактных галактик. П. ,	17
Еще о радиоизлучении ядер спиральных галактик Г. М. Товмасян	25
Спектральные наблюдения галактики М82	
А. С. Амирханян, В. А. Гаген-Торн, В. П. Решетников	31
Галактики с сильно вытянутыми изображениями . Б. И. Фессико	37
Анализ абсорбционных спектров одиннадцати квазаров с Ze > 2	
С. А. Левшаков, Д. А. Варшалович	49
Новые Н <sub>а</sub> эмиссионные звезды в областях галактических темных туманностей	
Мария Кун	63
Фотометрические особенности RY Тельца	6 <b>7</b>
О поляризации излучения рентгеновских источников	
В. М. Лоскутов, В. В. Соболев	81
О гравитационном излучении двойной системы с пульсаром PSR 1913+16	
Ю. В. Барышев	93
О возможном механизме изменения периода пульсаров Е. А. Памятных	10 !
Два типа пульсаров?	10 <b>7</b>
Влияние поляризации вакуума магнитным полем на лучистую теплопроводность	
поверхностных слоев нейтронных звезд Г. Г. Павлов, Д. Г. Яковлев	119
Конвекция в вырожденных оболочках нейтронных звезд В. А. Урлин	133
Галактическое содержание дейтерия-тест для космологических моделей	
Б. В. Вайнер, Ю. А. Щскинов	143
Влияние вращения и двойственности на частоту радиальных колебаний одно- родной звезды	15 1
Неолнородность ранней Вселенной и образование первичных черных дыр	

Н. А. Заботин, Л. С. Марочник, П. Д. Насельский 161

#### Выпуск 2

Наблюдения скопления галактик в Волосах Вероники (А 1656) на частоте 102.5 МГц	177
Спектральное и морфологическое исследование галактик с UV-избытком. IV М. А. Казарян, В. С. Тамазян	192
Физические условия во взаимодействующих галактиках. компонентах изолиро- ванных пар и изолированных галактикахВ. А. Досталь	201
Наблюдения галактик с УФ-континуумом на частоте 102 МГц В. А. Артюх, Р. А. Кандалян, М. А. Оганнисян, В. А. Санамяч	215
Об активности ядер галактик в двойных системах Г. М. Товмасян	227
О возможности выметания газа из галактики под действием давления излучения активного ядра В. Г. Горбацкий	234
Оптическая переменность и радиоструктура внегалактических источников В. А. Газен-Тори, И. И. Шевченко	245
Исследование магнитного поля галактики	255
Спектрофотомстрическое изучение нестационарных звезд. IV. О спектре V 1057 Лебедя	263
Инфракрасные избытки звезд с собственной поляризацией Ю. К. Мелик-Алаверлян, Т. А. Мовсесян	275
Приближенные методы решения задач переноса излучения в холодной плазме с сильным магнитным полем	
А. Д. Каминкер, Г. Г. Павлов, Н. А. Силантьсв, Ю. А. Шибанов	283
Инвариантные структуры магнитного жгута	300
«Предельно-жесткая» Вселенная и спектр масс первичных черных дыр Н. А. Заботин, П. Д. Насельский	311
краткие сообщения	

Наблюдения галактик высокой поверхностной яркости на частоте 3.66 ГГц. 11 В. Г. Малумян, Г. А. Оганян 324

#### Выпуск 3

Яркие эмиссионные линии в новых сейфертовских галактиках В. Л. Афанасьсв, Э. К. Денисюк, В. А. Лийовецкий, А. И. Шаповалова 320 Об особенности кривой вращения галактики NGC 2814 . Н. К. Андреасян, Э. Е. Хачикян 337 Радионаблюдения взаимодействующих галактик NGC 7714 (Мархарян 538)— NGC 7715 (Арп 284, VV 51) и квазара UB I

Г. Коджоян, Г. М. Товмасян 343

К теорни устойчивости плоских подсистем галактик М. Г. Абрамян	350
Флуктуации температуры реликтового излучения в витронийной теории обра- зования галактик	356
Градиент металличности в галактике и его происхождение В А. Марсаков, А. А. Сучков	367
Атмосфера Канолуса. І. Модель атмосферы и распределение микротурбулентности А. А. Боярчук, Л. С. Любимков	3 <b>7</b> 5
Молекулярные полосы поглощения в ИК-спектрах М-гигантов В. З. Австисян, Ю. К. Мелик-Алавердян	386
Абсолютные монохроматические потоки в ультрафиолетовых слектрах звезд по	
данным «Ориона-2» Г. А. Гурзалян, Р. А. Епремян, Дж. Б. Оганесян, С. С. Рустамбекова	398
Магнитное поле пульсаров	417
Влияние содержания легко ионизуемого <sup>1</sup> элемента на атмосферы звезд В. В. Леушин, В. В. Соколов, Г. П. Топильская	423
К вспросу о реждении частиц в сильном магнитном поле В. С. Бескин	439
Новый взгляд на происхождение комет и других малых тел Б. А. Воронцов-Вельяминов	450
О значении последних открытий в солнечной системе С. К. Всехсвятский	455
краткие сообщения	
Переменность в спектре звезды HD 218875	460
ОБЗОРЫ	
Звезды типа Т Тельца и родственные объекты	463
Олег Александрович Мельников	498

## Выпуск 4

Вириальная масса и светимость скопления галактик в Деве И. Д. Караченцев	501
Новые галактики с UV-избытком. IV , М. А. Казарян, Э. С. Казарян	51 <b>2</b>
Лучевые скорости галактик в окрестностях групп галактик. I	
Я. Всниик, А. Каазик	523
Лучевые скорости галактик в окрестностях групп галактик. II	
. Я. Венник, А. Каазик, А. М. Амирханян	533
О Маркарян 6 и вопрос в промежуточном классе Sy 1.5	
Э. Е. Хачикян, В. Н. Попов, А. А. Егиазарян	541
К вопросу о связи сейфертовских галактик с соседними сбъектами	

А. Р. Петросян 548

О частоте вспышех сверхновых в галактиках типа Sc Р. Г. Мнацаканян	563
Аномальные покраснения сверхновых звезд М. Пызвээр	574
Функция радиосветимости ссйфертовских галактик	580
Численное исследование генерации глобальной спиральной структуры во взаимо- действующих галактикахВ.И.Корчагии, Ю.Г.Шевелев	589
Атмосфера Канопуса. II. Химический состав. Определение массы, раднуса, свети- мости и возраста	59 <b>7</b>
Точные решения уравнения переноса излучения в линии при частичном перераспределении по частоте	608
Планковские средние сечения лучевого давления для несферических пылинок. І Н. В. Вощинников, В. Б. Ильин	616
Столкновения массивных газовых облаков с первичным химическим составом: динамика и звезлообразование А. А. Сучков, Ю. А. Шекинов, М. А. Эдельман	629 ·
Черенковский эффект и плазменный турбулентный реактор Р. Д. Ломадзе	641
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	
Наблюдения галактик с ультрафиолетовым континуумом на частоте 327 МГц В. А. Санамян, Р. А. Кандалян, В. Р. Венугопал, Д. С. Багри	651
О спектре одной вспышки звезды YY Cem	654
Поиск переменности радионсточника 3С 120 на частоте 327 МГц. II В. А. Санамян, В. Р. Венугопал	65 <b>7</b>
Переменные кометарные туманности А. Л. Гюльбудалян	660
Спектральное исследование ядра комстарной туманности Р 17 В. М. Петросян	664
РЕЦЕНЗИИ	

Abrahamian M. G. On the theory of flat subsystems of galaxies · · ·	350
Afanasyev V. L., Denisyuk E. K., Lipovetsky V. A., Shaporalova A. I. Bright emission lines in new Seyfert galaxies	329
Amburtan V. V. On the spectrum of one flare of YY Gem • • • •	654
Amirkhanian A. S., Hagen-Thorn V. A., Reshetnikov V. P. Spectral obser- vations of the galaxy M 82	31
Amirkhanian A. M. (see Vennik Ya.), · · · · · · · · ·	533
Andreasstan R. R. The investigation of the galactic magnetic field • • •	255
Andreassian N. K., Khachikian E. Ye. On the pecularity of the rotation curve of the galaxy NGC 2814	337
Artyukh V. A., Kandalian R. A., Howhanissian M. A., Sanamian V. K. Ob- servations of the galaxies with ultraviolet continuum at 102 MHz 215	215
Avetission V. Z., Melik-Alaverdian Yu. K. Molecular absorption bands in IR spectra of M giants	386
Bagry D. S. (see Sanamian V. A.) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	651
Baryshev Yu. V. On the gravitational radiation of the binary system with pulsar PSR 1913+16	93
Beskin V. S. On the pair creation in a strong magnetic field • • • •	439
Boyarchuk A. A. (see Lyubinkov L. S.) · · · · · · · · ·	5 <b>97</b>
Boyarchuk A. A., Lyubimkov L. S. The atmosphere of Canopus. I. Model at- mosphere and microturbulence distribution	375
Borngen F, Kalloghlian A. T. Morphology of compact galaxies. II. · · ·	17
Chalonge D., Divan L., Mirzayan L. V. Spectrophotometric studies of non- stable stars. IV. On the spectrum of V 1057 Cygni	263
Divan L. (see Chalonge D.) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	263
Denisyuk E. K. (see Afanasyev V. L.) · · · · · · · · · ·	329
Dostal V. A. Physical conditions in interacting galaxies, components of iso- lated pairs and isolated galaxies	201
Ephremian R. A. (see Gurzadian G A.) · · · · · · · · ·	398
Edelman M. A. (see Suchkov A. A.) · · · · · · · · · ·	629
Fessenko C. I. Galaxies of very elongated shape · · · · · · ·	37
Gorbatsky V. G. On the possibility of sweeping of interstellar gas from a ga- laxy by active nucleus radiation pressure	234
Gubanov A. G. Observations of Come clusters of galaxies at 102.5 MHz	177

Gurzadian G. A., Ephremian R. A., Ohanessian J. B., Ruslambekova S. S. Absolute spectrophotometric measurements for a group of stars in Au- riga based on "Orion-2" data	398
Gyulbudagian A. L. Variable cometary nebulae · · · · · · ·	660
Hagen-Thorn V. A., Shevchenko I. I. Optical variability and radio structure of extragalactic sources. Evidence for recurrent activity	245
Hagen-Thorn V. A. (see Aminkhanian A. S.) • • • • • • •	31
Howhanessian R. Kh. The variability of the spectra of HD 218875	460
Howhanissian M. A. (see Artykh V. A.) · · · · · · · · ·	215
Ilyin V. B. (see Voshchinikov N. B.)	616
Joeveer M. Anomalous redolemings nf type I Tupernevae · · · ·	574
Kaazik A. (see Vennik Ya.) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	523
Kauzik A. (see Vennik Ya.)	533
Kalloghlian A. T. (see Borngen R. F.) • • • • • • • • • •	17
Kaminker A. D., Pavlov G. G., Silantyev N. A., Shibanov Y. A. Approximate methods for solution of radiative transfer problems in a strongly mag-	
netized cold plasma · · · · · · · · · · · · · · ·	283
Kandalian R. A. The radio luminosity function of Seyfert type galaxies	580
Kandalian R. A. (see Ariyukh V. A.) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	651
Karachantasu I. D. Virial mass and luminosity of the Virgo eluster of galaxies	501
Karacheteen I. D. (see Karachenteena V. Ya)	501
Karachanteerin V. Ya. Karachanteeri I. D. Irolnied triplate of galaxies. Virial	5
mass-to-light ratios · · · · · · · · · · · · · · · ·	5
Kazartan M. A., Kazartan E. S. The new galaxies with UV-excess. IV	512
Kazarian M. A., Tamazian V. S. Spectrophotometry and morphology of the galaxies with UV-excess. IV	192
Khachikian E. Ye., Popov V. N., Yegiazarian A. A. On the Markarian 6 and . the problem of the intermediate Sy 1.5 type	541
Khachikian E. Ye. (see Andreassian N. K.) • • • • • • • •	337
Kojoyan G., Tovmassian H. M. Radio observations of interacting galaxies HGC 7715 (Arp 284, VV 51) and radio quasar UB I · · · · ·	343
Korchagin V. I., Shevelev Yu. G. Numerical study of global spiral structure generation in interacting galaxies	589
Kun M. New H-omission star in galactic dark clouds	63
Levshakov S. A., Varshalovich D. A. Analysis of the absorption-line spectra of eleven quasars with z2 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	49
Leushin V. V., Sokolev V. V., Topilskaya G. P. The effect of a light ionized element on stellar atmospheres	423
L povelsky V. A. (see Afanasyev V. L.) • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	329

I	N	D	EX	OF	AU	TH	<b>ORS</b>
				_		_	

Lomadze R. D. Cherenkov effect and turbulent plasma reactor · · · 641
Loskutov V. M., Sobalev V. V. On the polarization of x-ray sources · · · 81
Lyubimkov L. S., Boyarchuk A. A. The atmosphere of Canopus. II. Chemical composition. Determination of mass, radius, luminosity and age • • 597
Lyubimkov L. S. (see Boyarchuk A. A.) · · · · · · · · · · · · 375
Malov I. F., Suleymanov S. A. Two types of pulsars?
Malumian V. G., Oganian G. A. Observations of galaxies of high surface brightness at 3.69 GHz. 11 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Marochnik L. S. (see Zahotin N. A.) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Marsakov V. A., Suchkov A. A. The metal abundance gradient in the galaxy and its Origin
Meluk-Alaverdian Yu. K., Movsessian T. A. Infrared excess of stars with pro- per polarization
Melik-Alaverdian, Yu. K. (see Avetissidn V. Z.) · · · · · · 386
Mirzoyan L. V. The stars of T Tau type and related objects · · · · 463
Mirzoyan L. V. P. N. Kholopov "Star cluster" (review) · · · · 668
Mirzoyan L. V. (see Chalonge D.) · · · · · · · · · · · · · · · 263
Mnatsakantan R. V. On the frequency of Supernovae in 548 Sc galaxies
Movsessian T. A. (see Melik-Alaverdian Yu. K.) · · · · · 275
Nagirner D. I. Exact solutions of equation of transfer of line radiation with partial f frequency redistribution
Naselsky P. D. Temperature fluctuations of relict radiation in the entropian theory of galactic origin
Naselsky P. D. (see Zabotin N. A.) · · · · · · · · · · · · 151
Naselsky P. D. (see Zaboiin N. A.) • • • • • • • • • • • • • • • 311
Oganian G. A. (see Malumian V. G.) • • • • • • • • • • • 324
Ohanessian J. B. (see Gurzadian G. A.) · · · · · · · · · · · · 398
Pamyatnikh E. A.: On a possible mechanism of period change of pulsars · · 101
Pavlov G. G., Yakovlev D. G. Effect of vacuum polarization by magnetic field on radiative thermal conductivity of surface layers of neutron stars 119
Pavlov G. G. (see Kaminker A. D.) · · · · · · · · · · · · 283
Petrosstan A. R. On the question of the relation of Seyfert galaxies with neighbouring objects
Petrosstan V. M. Investigation of the nucleus of the cometary nebulae P 17 . 663
Pones V. N. (see Khachikian F. Ye)

Reshetnikov V. P. (see Amirkhanian S. A.) · · · · · · · ·	31
Rustamaekova S. S. (see Gurzadian G. A.) · · · · · · · · ·	398
Sanamtan V. A., Venugopal V. R. A search of variability of 3C 120 at 327 MHz. II · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	657
Sanamian V. A., Kandalian R. A., Venugopal V. R., Bagri D. S. Obscrvations of galaxies with ultraviolet continuum at 327 MHz · · · · ·	651
Sanamian V. A. (see Artyukh V. A.) · · · · · · · · · ·	215
Sedrakian D. M. The magnetic field of pulsars • • • • • • •	417
Shalonge D., Divan L., Mirzoyan L. V. Spectrophotometric studies of non- stable stars. V. On the spectrum of V 1057 Cygni · · · · ·	263
Shapavalova A. I. (see Afanasyev V. L.) • • • • • • • • • •	329
Shchekinov Yo. A. (see Vainer B. V.) · · · · · · · · · · · ·	143
Shchekinov Ya. A. (see Suchkov A. A.) • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	629
Sheuchenko I. I. (see Hagen-Thorn V. A.) · · · · · · · · ·	245
Shevelev Yu. G. (see Korchagin V. I.) · · · · · · · · ·	589
Shibanov Yu. A. (see Kaminker A. D.)	283
Stdorov K. A. The influence of rotation and dublicity of a homogeneous star on the frequency of radial oscillation	151
Silantyev N. A. (see Kaminker A. D.) • • • • • • • • • • •	283
Sobolev V. V. (see Loskutov V. M.) · · · · · · · · · · ·	81
Sokolov V. V. (see Leushin V. V.)	423
Solovyov A. A. Invariant structures of magnetic flux • • • • • •	<b>3</b> 90
Suchkov A. A., Shchektnov Yu. A., Edelman M. A. The collisions of massive gas clouds with primeval chemical composition: dynamics and star for-	
mation · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	629
Suchkov A. A. (see Marsakov V. A.) • • • • • • • • • • •	367
Suleymanova S. A. (see Malov I. F.) · · · · · · · · · ·	107
Tamazian V. S. (see Kazarian M. A.) · · · · · · · · · ·	19
Topilskaya G. P. (see Leushin V. V.) • • • • • • • • • • • •	423
Tovmasstan G. M. Once more on the radio emmission of the nuclei of spiral galaxies	25
Toumassian G. M. On the activity of nuclei in double systems • • • •	227
Tovmassian G. M. (see Kojoyan G.) • • • • • • • • • • • •	343
Urpin V. A. Convection in degenerate envelopes of neutron stars	133

## Number 1

Isolated triplets of galaxies. Virial mass-to-light ratios	
V. E. Karachentseva, I. D. Karachentsev	5
Morphology of compact galaxies. Il · · F. Borngen, A. T. Kalloghlian	17
Once more on the radio emission of the nuclei of spiral galaxies	
H. M. Tovmassian	25
Spectral observation of the galaxy M 82	
A. S. Amirkhanian, V. A. Hagen-Thorn, V. P. Reshetnikov	31
Galaxies of very elongatad shape · · · · · · · · · B. I. Fessenko	37
Analysis of the absorption-line spectra of eleven quasars with $Z_e>2$	
S. A. Levshakov, D. A. Varshalovich	49
New H. emission stars in galactic dark clouds · · · · · · Marta Kun	63
Photometric properties of RY Tauri · · · · · · · G. V. Zajtseva	67
On the polarization of X-ray sources · · · V. M. Loskutov, V. V. Sobolev	81
On the gravitational radiation of the binary system with pulsar PSR 1913+11 Yu. V. Baryshev	9 <b>3</b>
On a possible mechanism of period change of pulsars · · E. A. Pamyatnykh	101
Two types of pulsars? • • • • I. F. Malov, S. A. Suleymanova	107
Effect of vacuum polarization by magnetic field on radiative thermal conduc-	
tivity of surface layers of neutron stars . G. G. Paulou, D. G. Yakouleu	119
Convection in degenerate envelopes of neutron stars · · · V. A. Urptn	133
Galactic deuterium as a test of cosmological models B. V. Vainer, Yu. A. Shchekinov	143
of radial oscillation	151
Inhomogeneity of the early universe and formation of primordial black holes N = A Zabetin L S. Marochnik P. D. Noselskiu	161

## Number 2

Observations of coma cluster of galaxies at 102.5 MHz · · A. G. Gubanov	177
Spectrophotometry and morphology of the galaxies with UV-excess. IV M. A. Kazartan, V. S. Tamazian	192
Physical conditions in interacting galaxies, components of isolated pairs and isolated galaxies · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	201
Observations of the galaxies with ultraviolet continuum AT 102 MHz V. A. Artyukh, R. A. Kandalian, M. A. Hovanissian, V. A. Sanamian	215
On the activity of nuclei in double systems · · · · H. M. Tovmasstan On the possibility of sweeping of interstellar gas from a galaxy by active radiation pressure · · · · · · · · · · · · · · · V. G. Gorbatsky	227 234
Optical variability and radio structure of extragalactic sources. Evidence for recurrent activity · · · · V. A. Hagen-Thorn, I. I. Shevchenko	245
The investigation of the galactic magnetic field • • • R. R. Andreassian	255
Spectrophotometric studies of non-stable stars. IV. On the spectrum of V 1057 Cygni · · · · · <u>D. Chalonge</u> L. Divan, L. V. Mirzoyan	263
Infrared axcess of stars with proper polarization Yu. K. Melik-Alaverdian, T. A. Movsessian	275
Approximate methods for solution of -radiative transfer problems in a strongly Magnetized cold plasma	
A. D. Kaminker, G. G. Pavlov, N. A. Silantev, Yu. A. Shibanov	283
Invariant structures of magnetic flux ropes · · · A. A. Solovyev	300
"STIFF" universe and the mass spectrum of primordial black holes N. A. Zabotin, P. D. Naselsky	311
NOTES	
Observations of galaxies of high surface brightness at 3.66 GHz. II V. G. Malumtan, G. A. Oganuan	324

## Number 3

Bright emission lines in new Seyfert galaxies V. L. Afanasyev, E. K. Dentsyuk, V. A. Lipovetsky, A. I. Shapovalova	329
On the pecularity of the rotation curve of the galaxy NGC 2814 N. K. Andreassian, E. Ye. Khachikian	337
Radio observations of interacting galaxies NGC 7714 (Markarian 538)-NGC 7115 (Are 284 VV51) and radio guasar UB 1	
G. Kojoyan, H. M. Tovmassian	343
On the theory of flat subsystems of galaxies • • M. G. Abrahamtan	350

Temperature fluctuations of relict radiation in the entropyan theory of galatic origin • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	356
The metal abundance gradient in the galaxy and its origin	
V. A. Marsakov, A. A. Suchkov	367
The atmosphere of canopus. I. Model atmosphere and microturbulence distri-	
bution · · · · · · · A. A. Boyarchuk, L. S. Lyubimkov	375
Molecular absorption bands in IR spectra of M giants	
V. Z. Avetissian, Yu. K. Melik-Alaverdian	386
Absolute spectrophotometric measurements for a group of stars in Auriga ba- sed on "Orion-2" data	
G. A. Gurzadian, R. A. Ephremian, J. B. Ohanessian, S. S. Rustambekova	398
The magnetic field of pulsars • • • • • D. M. Sedrakian	417
The effect of a light ionized element on stellar atmospheres	
V. V. Leushin, V. V. Sokolov, G. P. Topilskaya	423
On the pair creation in a strong magnetic field • • • • • V. S. Beskin	439
A new outlook on the origin of comets and other minor bodies	
B. A. Vorontsov-Velyamtnov	450
On the importance of the last discoveries in the solar systems	
S. K. Vsekhsvyatsky	455
NOTES	
The variability of the spectra of HC 218875 R. Kh. Howhanessian	460
REVIEWS	
The stars of T Tau type and related objects • • • L. V. Mirzoyan	463
O. A. Melnikov	498

#### Number 4

Virial mass and luminosity of the Virgo cluster of galaxies- <i>I. D. Korachenisev</i>	501
The new galaxies with UV-excess. IV · · M. A. Kazarian, E. S. Kazarian	512
Radial velocities of galaxies in the vicinity of groups of galaxies. I J. Vennik, A. Kaazik	523
Radial velocities of galaxies in the vicinity of groups of galaxies. Il J. Vennik, A. Kaazik, A. Amirkhanian	533
On the Markarian 6 and the problem of the intermediate Sy 1.5 type E. Ye. Khachikian, V. N. Poper, A. A. Yeglazarian	541
On the question of the relation of Seyfert galaxies with neighbouring objects $A. R. Petrosslan$	548
On the frequency of Supernovae in Sc galaxies · · · R. A. Mnatsakanian	563

Anomalous reddenings of type I Supernovae · · · · · M. Jöeveer	574
The radio luminosity function of Seyfert type galaxies $\cdot$ $\cdot$ R. A. Kandallan	580
Numerical study of global spiral structure generation in interacting galaxies V. I. Korchagtn, Yu. G. Shevelev	589
The atmosphere of Canopus. I. Chemical composition. Determination of mass, radius, luminosity and age · · · L. S. Lyubimkov, A. A. Boyarchuk	597
Exact solutions of equation of transfer of line radiation with partial frequency redistribution · · · · · · · · · · · D. l. Nagtrner	608
Plank mean cross sections for radiation pressure for nonspherical grains. I N. V. Voschinnikov, V. B. Ilyin	616
The collisions of massive gas clouds with primeval chemical composition dy- namics and star formation	
A. A. Suchkov, Yu. A. Shekinov, M. A. Edelman	629
Cherenkov effect and turbulent plasma reactor · · · R. D. Lomadze	641
NOTES	
Observations of galaxies with ultraviolet continuum at 327 MHz V. A. Sanamian, R. A. Kandalian, B. P. Venugopal, D. S. Bagri	651
On the spectrum of one flare of YY Gem · · · · V. V. Ambarian	654
A search of variability of 3C 120 at 327 MHz V. A. Sanamtan, V. R. Venugopal	657
Variable cometary nebulae · · · · · · · A. L. Gyulbudagian	660
Investigation of the nucleus of the cometary P 17 V. M. Petrosstan	663
REVIEWS	

P. N. Kholopov "Star clusters" • • • • • L. V. Mirzoyan 668

.

VIRIAL MASS AND LUMINOSITY OF THE VIRGO CLUSTER OF GALAXIES	501
THE NEW GALAXIES WITH UV-EXCESS. IV	301
M. A. Kazarian, E. S. Kazarian	512
CALAXIES I CALAXIES IN THE VICINITY OF GROUPS OF	572
RADIAL VELOCITIES OF GALAXIES IN THE VICINITY OF GROUPS OF	343
GALAXIES. II J. Vennik, A. Kaazik, A. Amirkhanian	533
ON THE MARKARIAN 6 AND THE PROBLEM OF THE INTERMEDIATE Sy	
1.5 TYPE · · · · E. Ye. Khachikian, V. N. Popov, A A. Yegiazarian	541
ON THE QUESTION OF THE RELATION OF SEYFERT GALAXIES WITH	
NEIGHBOURING OBJECTS · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	548
ON THE FREQUENCY OF SUPERNOVAE IN Sc UALAXIES	649
ANOMALOUS REDDENINGS OF TYPE I SUPERNOVAE M. Jacobs	574
THE RADIO I UMINOSITY FUNCTION OF SEVERIT TYPE GALAXIES	5/4
R. A. Kandalian	580
NUMERICAL STUDY OF GLOBAL SPIRAL STRUCTURE GENERATION IN	
INTERACTING GALAXIES •••• V. I. Korchagin, Yu. G. Shevelev	589
THE ATMOSPHERE OF CANOPUS II. CHEMICAL COMPOSITION. DETER-	
MINATION OF MASS, RADIUS, LUMINOSITY AND AGE	
L. S. Lyubimkov, A. A. Boyarchuk	596
EXACT SOLUTIONS OF EQUATION OF TRANSFER OF LINE RADIATION	
WITH PARTIAL FREQUENCY REDISTRIBUTION $\cdot \cdot \cdot D$ . I. f/agirner	608
PLANK MEAN CRUSS SECTIONS FOR RADIATION PRESSURE FOR NUN-	00
THE COLLISIONS OF MASSIVE CAS CLOUDS WITH DRIMEVAL CHE.	010
MICAL COMPOSITION DYNAMICS AND STAR FORMATION	
A. A. Suchkov, Yu. A. Shchekinov, M. A. Edelman	629
CHERENKOV EFFECT AND TURBULENT PLASMA REACTOR	
R. D. Lomadze	641
NOTES	

P- N. KHOLOPOV "STAR CLUSTERS" ..... 668

ИНДЕКС 77706

## СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

ПЛАНКОВСКИЕ СРЕДНИЕ СЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕ- СФЕРИЧЕСКИХ ПЫЛИНОК. 1. • • • Н. В. Вощинников, В. Б. Ильин	616
СТОЛКНОВЕНИЯ МАССИВНЫХ ГАЗОВЫХ ОБЛАКОВ С ПЕРВИЧНЫМ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ: ДИНАМИКА И ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ А. А. Сучков, Ю. А. Щекинов, М. А. Эдельман	629
черенковский эффект и плазменный турбулентный реактор Р. Д. Ломадзе	641
краткие сообщения	
НАБЛЮДЕНИЯ ГАЛАКТИК С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ КОНТИНУУМОМ НА ЧАСТОТЕ	
В. А. Санамян, Р. А. Кондалян, В. Р. Венузопал, Д. С. Багри	651
о спектре одной вспышки звезды уу дем · · · В. В. А мбарян	654
поиск переменности радиоисточника 3С 120 на частоте 327 мгц. II В. А. Санамян, В. Р. Венуюпал	657
переменные кометарные туманности А. Л. Гюльбудагян	660
СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДРА КОМЕТАРНОЙ ТУМАННОСТИ Р 17 В. М. Петросян	663
РЕЦЕНЗИИ	

П. Н. ХОЛОПОВ, "ЭВЕЭДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ". . . . . . . . . . Л. В. Мирзоян 668

Адрес редакции: 375019, Ереван-19, Барекамутян, 24. Редакция журнала «АСТРОФИЗИКА».