

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

ФЕВРАЛЬ, 1977

ВЫПУСК 1

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ

Г. М. ТОВМАСЯН

Поступила 27 июня 1975

Пересмотрена 28 сентября 1976

Рассмотрены отношения газовой составляющей массы молодых звездных скоплений к их звездной массе. Результаты находятся в прямом противоречии с гипотезой образования звезд скопления из первоначально существующего газового облака путем его конденсации и свидетельствуют в пользу гипотезы В. А. Амбарцумяна о совместном происхождении звезд и газовых облаков из сверхплотной протозвездной материи.

С целью определения полной массы водородных облаков, связанных со звездными скоплениями, в 1965 г. автором [1] были предприняты наблюдения 14 скоплений типа О в линии излучения нейтрального водорода и в непрерывном спектре. Наблюдались скопления NGC 2175, 2264, 2353, 2362, 3293, 6169, 6204, 6231, 6383, 6514, 6531, 6604, 6611 и 6823, наиболее яркий член которых является звездой типа О или В0, а также два вероятных скопления NGC 6167 и NGC 6200, расположенных вместе со скоплениями NGC 6193 и NGC 6204 в области ассоциации в созвездии Жертвенника. Результаты наблюдений представлены в работах [2—5].

Определение полной массы газа, ассоциированного с открытыми звездными скоплениями, предоставляет возможность проверки имеющей широкое распространение гипотезы образования звезд скопления из первоначально существующего газового облака путем его фрагментации и последующей конденсации. Такая попытка впервые была предпринята Ф. Дрейком [6], который определил массы облаков нейтрального водорода, связанных с пятью открытыми скоплениями различных возрастов — от $\sim 10^3$ до $\sim 10^9$ лет, и сравнил полученные результаты с нижними пределами масс остаточного от процесса звездообразования газа в соответствующих скоплениях, ожидаемых согласно гипотезе образования звезд из газовых облаков. Расчет масс остаточного газа Ф. Дрейк выполнил с помощью функции образования Е. Солпитера [7] и функции светимости и диаграммы Рассела—Герцшпрунга для соответствующих скоплений. Исходя из того, что

отношение массы обнаруженного в скоплении газа к звездной массе скопления (M_H/M_*), а также к минимальной массе ожидаемого остаточного газа (M_H/M_p) уменьшается с возрастом скопления, что следовало ожидать при гипотезе образования звезд скопления из первоначально существующего газового облака, Ф. Дрейк приходит к выводу о том, что обнаруженный в скоплениях нейтральный водород действительно является газом, не успевшим еще сконденсироваться в звезды. Согласно результатам Ф. Дрейка отношение M_H/M_* изменяется чуть более 20 раз при изменении возраста скопления на три порядка.

Здесь, во-первых, следует заметить, что уменьшение относительного содержания газа в скоплениях с увеличением их возраста должно иметь место и по гипотезе В. А. Амбарцумяна [8—10], согласно которой звезды и газовые облака, входящие в состав звездных ассоциаций и скоплений, возникают совместно из сверхплотной протозвездной материи путем взрыва последней. Газовые облака, образовавшиеся после взрыва сверхплотной протозвездной материи могут уходить из скопления. Даже при скорости в 3 км/сек за 10^4 лет такие облака уйдут от места своего образования на 300 пс. Помимо этого, образовавшиеся вместе со скоплениями газовые облака могут просто рассеиваться в пространстве, поскольку, как на это указывает и Ф. Дрейк, внутренние скорости атомов водорода в облаках, определяемые по ширине профилей наблюдаемых линий излучения, много больше параболической скорости. Уже только по этой причине ассоциированные со скоплениями водородные облака должны рассеяться за время порядка нескольких миллионов лет.

Во-вторых, как это было показано более поздними наблюдениями с лучшим пространственным и частотным разрешением [11, 12], массы нейтрального водорода, определенные Ф. Дрейком для случая скоплений h и χ Персея и Плеяд оказались в сильной степени завышенными. При использовании правильных значений масс газовых составляющих рассмотренных им скоплений не обнаруживается никакой зависимости отношения M_H/M_* от возраста скоплений.

Нам кажется, что для проверки гипотезы конденсации более целесообразно рассмотрение отношений полной газовой массы к звездной массе в случае звездных скоплений приблизительно одинакового возраста, поскольку в этом случае следует ожидать, что рассматриваемые отношения M_H/M_* должны быть одинакового порядка. В качестве таковых целесообразно рассмотреть молодые скопления типа О. Возраст входящих в состав О-скоплений О—В0-звезд и их групп (цепочки, группы типа Трапедии Ориона) оценивается, как известно, приблизительно в 10^6 лет. Возраст самих скоплений может быть, очевидно, несколько больше, поскольку процесс возникновения в них звезд типов О—В0 может быть более длителен, чем время жизни таких звезд. Однако отсутствие в скоплениях типа О большого количества М-сверхгигантов указывает, что их возраст не

может более чем на один порядок превышать возраст O или B0 звезд. Поэтому следует ожидать, что в случае молодых звездных скоплений приблизительно одинакового возраста, порядка 10^6 лет, рассматриваемые отношения M_H/M_* не должны заметно отличаться друг от друга. Кроме того, в этом случае на изменении относительного количества газа меньше должен сказаться и уход газа из скоплений.

Отношения M_H/M_* для пяти O-скоплений были рассмотрены автором ранее [13]. Эти отношения очень сильно отличались друг от друга — они находились в пределах >10 и <0.05 . Но, как выяснилось позже, в работе [11] при отождествлении облаков нейтрального водорода, ассоциированных с наблюдаемыми скоплениями, была допущена досадная ошибка — не была учтена разница в системах радиальных скоростей, принятых при оптических и радионаблюдениях. При оптических наблюдениях радиальную скорость звезд обычно определяют по отношению к Солнцу, а при радионаблюдениях радиальную скорость определяют по отношению к местному стандарту покоя. Из-за этого полученные значения масс газовых составляющих некоторых скоплений не соответствовали действительности.

Результаты работ [1—5] по определению масс облаков нейтрального и ионизованного водорода, ассоциированных с молодыми O-скоплениями, позволяют рассмотреть отношения M_H/M_* для достаточно большой выборки скоплений с возрастом около 10^5 — 10^6 лет.

Для составления отношений M_H/M_* естественно, необходимо знание и звездных масс скоплений, которые, к сожалению, определяются достаточно неуверенно. Для шести из исследованных нами скоплений, а именно NGC 2264, 2353, 2362, 6531, 6611 и 6823 интегральная звездная масса определена К. Х. Шмидтом [14] при экстраполяции функции светимости соответствующих скоплений в сторону слабых звезд. Для указанных выше скоплений Шмидтом получены следующие значения масс: 1000, 925, 1980, 1340, 11500 и 2000 солнечных масс соответственно. С другой стороны, как указывает Б. Е. Маркарян [15], O-скопления, являющиеся ядрами O-ассоциаций, содержат очень небольшое число звезд. Согласно Б. Е. Маркаряну, количество звезд в этих скоплениях составляет всего несколько десятков и только изредка, как в случае NGC 6231, число звезд скопления может дойти до 100. А. Р. Хогг [16], производивший подсчеты звезд в скоплениях NGC 6167, 6193, 6200 и 6204, дает для количества звезд в этих скоплениях следующие значения: 154, 64, 142 и 59. Согласно подсчетам Г. А. Мановой [17], скопления NGC 2353, 6611 и 6823 содержат около 130, 250 и 200 членов соответственно. По Готцу [18] NGC 2264 содержит около 300 звезд, а NGC 6611 — 73 звезды, а их массы равны соответственно $410 M_\odot$ и $420 M_\odot$. Количество звезд в NGC 2175 составляет, согласно П. Пишмиш [19], всего 65. В. Е. Говард и А. Т. Янг [20], оценившие массу скопления NGC 2264 в $480 M_\odot$, указывают, что масса типичного скопления составляет около $300 M_\odot$. Таким образом, оценки масс звездной состав-

ляющей скоплений, произведенные К. Х. Шмидтом, являются, по всей видимости, очень завышенными. Исходя из вышеизложенного, мы оценили звездные массы исследованных скоплений по количеству известных в них звезд, учитывая количество горячих сверхгигантов. Полученные значения звездных масс скоплений представлены в табл. 1. Очевидно, что произведенные оценки звездных масс могут быть, вероятно, до двух-трех раз ошибочны. Одной из возможных причин ошибочной оценки звездной массы скоплений может быть также и присутствие в них вновь оформившихся звезд, окруженных плотными глобулами и, потому, не видимых. Но это вряд ли может более чем в два раза увеличить звездную массу скопления. Однако, как это видно из дальнейшего, ошибки такого порядка в оценке звездных масс скоплений в рассматриваемом случае не существенны.

В табл. 1 наряду со звездными массами скоплений представлены массы ассоциированных с соответствующими скоплениями облаков нейтрального и ионизованного водорода по [2—5] и отношения полной газовой массы скоплений к их звездной массе, M_H/M_* . В таблице указаны также типы наиболее ранних звезд скоплений, в какой-то мере характеризующие небольшую разницу в их возрастах.

В таблице приведены также данные относительно скоплений h и χ Персея и Плеяд из [13] и NGC 2244 по измерениям Е. Реймонда [21] (H I) и Р. Минковского [22], К. Т. Менона [23], В. Вестерхаута [24] и А. Д. Кузьмина [25] (H II). Значения масс ионизованного водорода, определенные в [2—5] для скоплений NGC 2362, 6611 и 6823, в пределах ошибок измерений совпадают с соответствующими значениями, определенными Шварцом [26].

Следует заметить, что возраст Плеяд почти на два порядка превышает возраст некоторых из исследованных скоплений.

Верхние пределы массы возможных облаков нейтрального водорода в скоплениях, в которых таковой не обнаружен, определены в предположении, что их размеры в три раза превышают размеры соответствующих скоплений, что дисперсия скоростей в них порядка 10 км/сек, а яркостная температура меньше 1°К, что является предельной температурой обнаружения в наблюдениях [1—5]. Аналогичным образом подсчитано и значение верхнего предела массы ионизованного водорода в этих скоплениях.

Как было показано в [4], известная Трехраздельная туманность связана, вероятно, с одиночной звездой типа O7 и не имеет ничего общего со скоплением NGC 6514, существование которого вообще сомнительно. Поэтому в табл. 1 приведено отношение массы Трехраздельной туманности к массе возбуждающей ее звезды типа O7, принятой равной $50 M_\odot$. Аналогичная ситуация имеется в случае NGC 3293. Здесь также обнаруженное облако ионизованного водорода связано с одиночной звездой типа O7, расположенной далеко от скопления [3]. В этом случае отношения M_H/M_* приведены в отдельности для скопления и этой одиночной звезды.

Таблица

Скопление, NGC	869, 884 h и γ , Персей	2175	2244	2264	2353	2362	3293	6193	6204	6231	6383	6514	Трехраз- дельная туманность	6531	6604	6611	6823	Плеяды	6167	6200	
Тип наиболее ранней звезды	B 0.5	O 6	O 6	O 7	B 0	O 9	B 0	O 7	B 0	O 6	O 8	O 7	B 0	O 7	B 0	O 8	O 8	O 7	B 7		
M_{HII}/M_{\odot}	—	1400	10^4	60	10	3	80	$2 \cdot 10^3$	100	10	50	450		$5 \cdot 10^3$	5	600	$5 \cdot 10^3$	$1.8 \cdot 10^3$	—	10^3	10
M_{HI}/M_{\odot}	500	—	$6 \cdot 10^3$	40	10	3	80	$8 \cdot 10^3$	400	10	100			—	5		10^3	$2 \cdot 10^3$	6	—	10
M_*/M_{\odot}	10^4	150	500	450	300	300	200	50	200	200	300	200	100	50	200	300	400	300	900	400	400
M_{H}/M_*	0.5	10	300	0.2	0.1	0.02	1.0	200	2.5	0.1	0.2	2.5		100	0.05	2	250	13	0.01	2.5	0.05

Рассмотрение табл. 1 показывает, что отношения M_H/M_* меняются в очень широких пределах от значения 250—300 в случаях NGC 2244 и NGC 6611 до менее, чем 0.05 или 0.02 в случаях NGC 6531 и NGC 2362, т. е. отношения M_H/M_* меняются от скопления к скоплению более, чем на четыре порядка. Примечательно, что отношения M_H/M_* изменяются более чем на три порядка и в случае скоплений, содержащих звезды типов Об—О8 и, следовательно, имеющих практически одинаковый возраст.

Очевидно, что ошибки определения газовой и звездной составляющей масс скоплений никак не могут обусловить огромные изменения отношений M_H/M_* . Этот результат находится в прямом противоречии с гипотезой конденсации, согласно которой отношения M_H/M_* для рассмотренных скоплений должны быть одинакового порядка.

Помимо изменения отношения M_H/M_* в больших пределах, чего в рамках гипотезы образования звезд скопления из первоначально существующего облака — путем ее сжатия, не следовало ожидать при почти одинаковом возрасте рассмотренных скоплений, не менее существенно и полное отсутствие газа в некоторых молодых скоплениях. Верхние пределы массы возможной газовой составляющей в скоплениях NGC 2353, NGC 2362, NGC 6204 и NGC 6531 меньше одного-двух десятков солнечных масс. А ожидаемые, согласно гипотезе сжатия, значения нижнего предела остаточной газовой массы должны быть достаточно высоки. В случае скоплений h и χ Персея и Плеяд эти значения минимальной массы равны соответственно $3600 M_\odot$ и $60 M_\odot$, согласно Ф. Дрейку [6]. Поскольку многие из исследованных нами скоплений моложе h и χ Персея, наиболее ранние звезды которых принадлежат типу В0.5 [27], и много моложе Плеяд, то минимальная остаточная газовая масса в них должна быть порядка нескольких сотен и даже тысяч солнечных масс.

Можно было бы полагать, что в некоторых скоплениях часть водорода находится в ненаблюдаемом молекулярном состоянии. Но это противоречило бы самой идее расчета ожидаемых масс газа в скоплениях, согласно которой остаточный газ в скоплениях потому и является остаточным, что он еще не начал конденсироваться в звезды. Если бы наблюдаемый водород отсутствовал в относительно более старых скоплениях, то такое допущение было бы, возможно, в какой-то мере справедливо. Но, как это следует из таблицы 1, газ отсутствует в таком скоплении, как NGC 6204, ранняя звезда которого принадлежит типу Об и, кроме того, количество газа в относительно более молодых скоплениях с более ранними звездами не обязательно превышает таковое для относительно более старых скоплений. Нет никакой корреляции и между плотностью ассоциированных со скоплениями водородных облаков и типом наиболее яркой звезды скопления.

В качестве другой возможной причины отсутствия газа в некоторых молодых скоплениях могут рассматриваться взрывы сверхновых, в результате чего газ, казалось бы, может выметаться из области скоплений. Если

принять частоту вспышек сверхновых в нашей Галактике равной одной сверхновой за 50 лет [28, 29], то за 10^9 лет в каждой из 2000 ассоциаций Галактики должно было бы вспыхнуть в среднем по 10 сверхновых, если все сверхновые вспыхивают в области ассоциаций, или по одной сверхновой, если сверхновые равномерно распределены по всему галактическому диску, что менее вероятно. Следовательно, если бы взрывы сверхновых выметали газ, то его, практически, не должно было бы остаться ни в одном молодом скоплении. Однако сверхновые, по всей видимости, существенным образом не выметают газ из окружающей среды. Это следует из работы Галла [30], в которой показано, что из-за Релей-Тейлоровской неустойчивости, возникающей в результате взаимодействия расширяющейся оболочки сверхновой с межзвездной средой, в оболочке довольно быстро, через 10^8 — 10^{10} сек после вспышки, образуются волокна. А расширяющаяся система волокон, естественно, не может увлечь за собой значительной части газа окружающей среды.

Таким образом, рассмотренные в настоящей статье результаты по определению полной массы связанных с молодыми звездными скоплениями облаков водорода определенным образом противоречат гипотезе образования звезд скопления путем конденсации газового облака и, тем самым, свидетельствуют скорее в пользу гипотезы В. А. Амбарцумяна, все более подтверждаемой многочисленными наблюдательными фактами. По этой гипотезе, как известно, образование звезд скоплений и газовых туманностей происходит совместно путем взрыва сверхплотного протозвездного тела и то или иное количество газовой материи, ассоциированное с каким-либо молодым скоплением, зависит от конкретных условий образования этого скопления и потому не следует ожидать какой-либо зависимости относительного содержания газа в скоплениях от их возраста или от суммарной звездной составляющей их массы. Кроме того, при таком взрывном образовании скопление в целом, вместе с имеющимся в его составе газом, должно быть нестационарным и основная часть газа должна иметь скорость, достаточную для ухода из скопления. А это подтверждается наблюдаемыми значениями дисперсии радиальных скоростей нейтрального водорода в исследованных скоплениях, равными 10—20 км/сек [2—5]. При стабильности скоплений дисперсия не должна была бы превышать 2 км/сек.

В заключение автор выражает признательность Э. Ц. Шахбазяну за помощь при выполнении настоящей работы.

ON THE ORIGIN OF STELLAR CLUSTERS

H. M. TOVMASSIAN

The ratios of gas masses of young stellar clusters in relation to their stellar masses are considered. The results contradict the hypotheses concerning the origination of the cluster stars from the existing gas cloud by means of its condensation and are rather in favour of Ambartsumian's hypotheses on the common origin of stars and gas clouds from a superdense protostellar matter.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. M. Tovmassian, Austr. J. Phys., 26, 829, 1973.
2. H. M. Tovmassian, E. T. Shahbazian, Austr. J. Phys., 26, 837, 1973.
3. H. M. Tovmassian, E. T. Shahbazian, S. E. Nersessian, Austr. J. Phys., 26, 843, 1973.
4. H. M. Tovmassian, S. E. Nersessian, E. T. Shahbazian, Austr. J. Phys., 26, 853, 1973.
5. H. M. Tovmassian, S. E. Nersessian, Austr. J. Phys., 26, 861, 1973.
6. F. D. Drake, Neutral Hydrogen in Galactic Clusters, Thesis, Harvard University, 1958.
7. E. E. Salpeter, Ap. J., 121, 161, 1955.
8. В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1947.
9. В. А. Амбарцумян, Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 15, 1950.
10. В. А. Амбарцумян, Вестн. АН СССР, № 11, 45, 1957.
11. R. D. Davies, H. M. Tovmassian, M. N., 127, 61, 1963.
12. Г. М. Товмасын, Изв. АН Арм.ССР, сер. физ.-мат. наук, 17, 145, 1964.
13. Г. М. Товмасын, Сообщ. Бюраканской обс., 33, 87, 1963.
14. K. H. Schmidt, Astron. Nachr., 287, 41, 1963.
15. Б. Е. Маркарян, Сообщ. Бюраканской обс., 9, 3, 1951.
16. A. R. Hogg, Mem. Mt. Stromlo Obs., No. 17, 1965.
17. Г. А. Манова, Сообщ. ГАИШ, № 106, 10, 1959.
18. W. Götz, Astron. Nachr., 294, 9, 1972.
19. P. Pismis, Bol. Obs. Tonantzintla, 34, 219, 1970.
20. W. E. Howard III, A. T. Young, P. A. S. P., 71, 330, 1959.
21. E. Raimond, VAN, 18, 191, 1966.
22. R. Minkowski, IAU Symp., 2, 3, 1955.
23. T. K. Menon, Ap. J., 135, 394, 1962.
24. G. Westerhout, VAN, 14, 215, 1958.
25. А. Д. Кузьмин, Труды ФИАН, 17, 84, 1962.
26. R. Schwartz, Astrophys. Space Sci., 14, 286, 1971.
27. Б. Е. Маркарян, Нестационарные звезды, Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1957, стр. 169.
28. Б. В. Кукаркин, Астрофизика, 1, 465, 1965.
29. В. А. Амбарцумян, Астрофизика, 1, 473, 1965.
30. S. F. Gull, M. N., 171, 263, 1975.