

И. М. КОПЫЛОВ

О-АССОЦИАЦИЯ В СКОРПИОНЕ И ЕЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 18 IV 1953)

Открытие В. А. Амбарцумяном нового типа звездных объединений — ассоциаций ⁽¹⁾ — послужило толчком для более углубленного изучения пространственного распределения, структурных, кинематических и других особенностей группировок горячих звезд. При этом исключительно большое значение приобретает всестороннее изучение конкретных ассоциаций горячих гигантов, так как только систематическое накопление данных об отдельных ассоциациях дает возможность обнаружить общие черты и закономерности, присущие этим галактическим образованиям. В связи с предполагаемой динамической неустойчивостью ассоциаций особенное внимание следует уделять по возможности более точному определению размеров ассоциаций и внутренних движений звезд в ассоциациях.

Настоящая заметка посвящена изучению ассоциации горячих гигантов вокруг открытого скопления NGC 6231 в созвездии Скорпиона.

Расстояние до скопления NGC 6231 было определено по диаграмме спектр — видимая величина ⁽²⁾, дополненной данными из ⁽³⁾. Как и во всех открытых скоплениях, в этом скоплении звезды наиболее ранних спектральных подклассов заметно отклоняются вверх от стандартной главной последовательности, образуемой звездами общего галактического поля. Такие звезды скопления, расположенные над главной последовательностью, по своим спектральным характеристикам весьма сходны с обычными горячими сверхгигантами. Абсолютные величины таких звезд больше нормальных для данного спектрального подкласса на 2—3^м. Поэтому расстояние до скопления определялось по более слабым и более поздним звездам скопления, имеющим нормальные светимости.

Средний видимый модуль расстояния до скопления по 36 его звездам В₃—В₈ равен 11^{м,4}. После учета поглощения света ^(2^{м,4}) расстояние до скопления было найдено равным 650 пс. Расстояние, определенное по лучевым скоростям линий межзвездного кальция ^(3,4), равно 700 пс. Интенсивности линии К приводят к расстоянию 880 пс.

П. Н. Холопов ⁽⁵⁾, считая наиболее яркие звезды скопления NGC 6231 обычными горячими сверхгигантами, приписывал им среднюю абсолютную величину $M = -6^{\text{м},5}$. Определенное им расстояние оказалось равным 1400 пс. В результате такого завышения расстояния абсолютные величины звезд типа РСуг, расположенных вокруг скопления, оказались больше общепринятых на 2—3^м. Для звезд WR, входящих в скопление, светимость в среднем равна $-6^{\text{м},8}$, что почти на 3^м больше обычно им приписываемой ($-4^{\text{м},0}$).

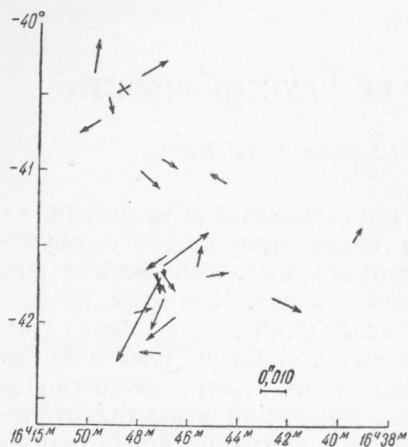
Определенные нами расстояния большинства звезд O-B2 вокруг скопления заключены в интервале 400—1000 пс со сгущением на расстоянии скопления. За счет всевозможных ошибок группа оказалась существенно вытянутой вдоль луча зрения.

Четыре звезды O-B0 и B0 с видимыми величинами $5^m,9$ — $7^m,1$, находящиеся на небе в области скопления Тг 24, на самом деле находятся на расстоянии скопления NGC 6231. Это подтверждается и тем, что интенсивности и лучевые скорости межзвездной линии *K* практически одинаковы как для этих четырех звезд, так и для звезд — членов скопления NGC 6231. Для последних эквивалентная ширина линии *K* равна 0,50 Å, для четырех упомянутых звезд 0,49 Å. Лучевые скорости по линии *K* равны $-7,9$ и $-7,2$ км/сек, соответственно. Вопрос же о расстоянии до скопления Тг 24 очень сложен и требует дальнейшего изучения.

Реальность пространственной группировки горячих гигантов вокруг скопления NGC 6231 не вызывает никакого сомнения. Диаметр самого скопления составляет 7 пс, диаметр ассоциации около 25 пс.

К этой ассоциации можно отнести уверенно около 15 звезд спектральных классов O-B2 (помимо звезд, входящих в скопление, также около 15). В ассоциацию входят объекты, говорящие о ее сравнительно недавнем возникновении: звезды типа PCyg и WR и кратные системы типа Трапедии Ориона.

Рис. 1. Собственные движения звезд ассоциации. Крестиком указано положение возможного второго ядра ассоциации



Собственные движения и лучевые скорости звезд скопления и окружающей ассоциации практически одинаковы. Таким образом, можно считать, что звезды O-B2 в рассматриваемой области образуют одну физически связанную систему, что подтверждается более детальным анализом собственных движений и лучевых скоростей этих звезд. Средняя лучевая скорость ассоциации равна -28 км/сек. Среднее уклонение лучевых скоростей отдельных звезд от этого значения составляет 8 км/сек. Считаем, что у скоростей звезд ассоциации по отношению к центру тяжести последней нет преимущественных направлений; тогда средняя относительная скорость звезд равна 16 км/сек. Это значение находится в хорошем согласии с выводами А. Ф. Торнджадзе⁽⁶⁾ о скоростях ухода звезд из O-ассоциаций.

Для 8 из 10 ранних звезд, непосредственно окружающих скопления, но не входящих в него, проекции собственных движений относительно скопления на радиусы-векторы, проведенные из ядра ассоциации (скопления), оказываются положительными, т. е. собственные движения показывают расширение этой группы звезд от скопления (рис. 1). В ассоциации имеется и второй центр, от которого направлены векторы собственных движений, т. е. ассоциация имеет два ядра. Одним ядром является, несомненно, скопление NGC 6231, второе возможное ядро должно находиться в районе скопления Тг 24.

Рассмотрим несколько подробнее вопрос об устойчивости изучаемой ассоциации. В. А. Амбарцумян предположил⁽¹⁾, что причиной расширения ассоциаций является наличие у их членов собственных скоростей, полученных ими в эпоху их образования, т. е. звезды ассоциации имеют такие большие относительные скорости, что не

могут удерживаться вместе силами взаимного притяжения. Таким образом, ассоциации являются нестационарными системами и наблюдаются лишь потому, что возникли сравнительно недавно и не успели распасться. Непосредственные измерения скоростей расширения ассоциаций показали (7), что эти скорости могут достигать 15 км/сек.

В связи с этим представляется весьма заманчивой возможность вычислить полные энергии ассоциаций и определить таким образом, являются ли ассоциации в действительности неустойчивыми. Для этого мы используем закон сохранения энергии системы:

$$T + V = h,$$

где кинетическая (T) и потенциальная (V) энергии системы определяются известными выражениями:

$$T = \frac{1}{2} \sum_i m_i v_i^2, \quad V = - \sum_{i,k} \frac{G m_i m_k}{r_{ik}} \quad (i \neq k).$$

Для удобства вычислений будем оценивать отношение $s = T/V$. Назовем условно $\lg s$ степень неустойчивости системы. При $T/V > 1$ ($\lg s > 0$) полная энергия системы положительна и система неустойчива.

Отношение s можно записать в виде:

$$s = \frac{5}{6} \frac{\overline{v^2} R}{GM},$$

где $\overline{v^2}$ — дисперсия скоростей звезд, R — средний радиус, M — масса ассоциации.

Для определения полной массы ассоциации мы предположили, что функции светимости ассоциации и ее ядра одинаковы. Масса скопления находилась суммированием масс отдельных звезд, определенных по зависимости масса — светимость (8). Масса скопления, определенная таким образом, не превосходит 500 M_{\odot} ; тогда полная масса ассоциации, включая и ядро, составит около 1000 M_{\odot} . Величина $(\overline{v^2})^{1/2} = 21$ км/сек была найдена по звездам с известными лучевыми скоростями (3, 4).

Используя, таким образом, наиболее вероятные значения величин, входящих в выражение для s , получаем $s = 10^3$. Мы приходим к весьма важному выводу о том, что полная энергия ассоциации положительна, т. е. ассоциация в целом является нестационарным образованием.

Оценка величины s для некоторых других ассоциаций с известными размерами и скоростями расширения (8) также приводит к значению порядка 10^3 . В табл. 1 приводится значение $\lg s$ для четырех ассоциаций (t — возраст ассоциации в миллионах лет, оцененный по ее диаметру и средней скоростью расширения). Для потока Скорпиона — Центавра (В-ассоциации) необходимые данные взяты из работы П. Г. Куликовского (9).

Наличие внутри объема многих ассоциаций диффузных газовых туманностей, даже наибольшие массы которых, как показали Г. А. Шайн и В. Ф. Газе (10), не превосходят нескольких тысяч M_{\odot} , может уменьшить значение s не более чем на половину порядка.

Проверим далее, выполняется ли условие $h > 0$ для ядра ассоциации в Скорпионе — скопления NGC 6231. Дисперсия скоростей звезд

Таблица 1

Ассоциация	$\lg s$	t
Скорпион	3,00	0,8
Цефей II	2,88	4,2
Персей II	3,18	1,3
Скорпион — Центавр	3,34	7,7

ассоциации и собственно скопления одинакова в пределах ошибок определения. Оказывается, что для скопления $s = 5 \cdot 10^2$, т. е. и ядро ассоциации, O-скопление, оказывается неустойчивым. Более того, мы видим, что степень неустойчивости ассоциации и степень неустойчивости ее ядра — величины одного порядка.

Если это имеет место и для других ассоциаций, то найдут естественное объяснение многие факты, касающиеся открытых скоплений и O-ассоциаций. В частности, тогда можно объяснить два весьма примечательных факта, отмеченных в ⁽¹⁾ и заключающихся в следующем: 1) всякое открытое скопление, содержащее звезды типа O или B0, является одновременно ядром некоторой ассоциации; 2) подавляющее большинство скоплений спектральных типов $B_5 - A0$ — богатые объекты, содержащие по несколько сотен звезд, в то время как O-скопления большей частью содержат не более 50 звезд.

Первый факт объясняется тем, что галактическое скопление — ядро звездной ассоциации — разрушается вместе с последней примерно с равной скоростью с нею (степень неустойчивости их одного порядка) и одновременно с нею перестает существовать. Поэтому не встречается O-скоплений, не имеющих вокруг себя O-ассоциаций. Во вторых, распад O-скопления вместе с окружающей ассоциацией происходит настолько быстро, что скопление перестает существовать прежде, чем его звезды успеют перейти в более поздние спектральные подклассы. Следовательно, богатые звездами скопления поздних спектральных подклассов возникают именно как таковые, а не являются результатом развития O-скоплений — ядер ассоциаций. Легко объясняется и относительно большой процент горячих звезд в общем галактическом поле.

Следует отметить, что богатые звездами скопления более поздних спектральных типов, например Плеяды (B_5) или Ясли (AO), являются, повидимому, вполне стационарными. Таким образом, весьма вероятно, что граница, отделяющая нестационарные скопления от стационарных, проходит где-то в области скоплений спектральных классов $B_2 - B_3$. Однако об этом можно будет говорить с полной определенностью лишь после детального изучения движений звезд в открытых скоплениях различных спектральных подклассов с привлечением для этой цели (особенно для ближайших скоплений) наряду с лучевыми скоростями и собственными движениями звезд.

Задача изучения внутренних движений в скоплениях и ассоциациях заслуживает самого пристального внимания и должна явиться предметом тщательного исследования, так как успешное ее разрешение даст нам возможность с новой точки зрения осветить вопросы возникновения и эволюции галактических скоплений и горячих звезд.

Крымская астрофизическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
2 IV 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. А. Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, Ереван, 1947; Астр. журн., 26, № 3 (1949); Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 15 (1950). ² С. А. Rieke, НС, 397 (1935). ³ О. Struve, Ap. J., 100, 189 (1944). ⁴ R. F. Sanford, Ap. J., 110, 117 (1949). ⁵ П. Н. Холопов, Астр. журн., 28, 472 (1951). ⁶ А. Ф. Торонджадзе, ДАН, 79, 441 (1950). ⁷ В. А. Амбарцумян, Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд на Международном астрономическом съезде, 1952. ⁸ П. П. Паренаго, А. Г. Масевич, Астр. журн., 27, 137 (1950). ⁹ П. Г. Куликовский, Бюлл. ГАИШ, № 2 (1940). ¹⁰ Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астр. obs., 8, 80 (1952).