АСТРОФИЗИКА

ТОМ 20 ФЕВРАЛЬ, 1984 ВЫПУСК 1

УДК 524.54

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ И СТРОЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ХЕРБИГА—АРО

А. Л. ГЮЛЬБУДАГЯН

Поступила 2 февраля 1983
Принята к печати 10 октября 1983

На основе использования данных о тангенциальных скоростях сгущений, группы которых составляют объекты HH 1, HH 2 и HH 39, сделан вывод о расширении этих групп в системе центра инерции, а отсюда сделано предположение о том, что эти группы образовались путем распада более массивного тела.

1. *Введение.* Как известно, объекты Хербига—Аро обнаруживаются в областях звездообразования. Эти объекты встречаются как в одиночку, так и группами, причем объекты в группах располагаются в виде цепочек или конфигураций «типа Трапеции», в которых расстояния между объектами одного порядка [1]. Но независимо от конфигурации, образуемой этими объектами, конечно, не может быть и речи о какой-то устойчивости этих групп.

В [2] было предположено на основе имеющихся тогда наблюдательных данных, что объекты Хербига—Аро были выброшены из каких-то тел, находящихся в темных туманностях (звезд или же, возможно, тел, состоящих из сверхплотного вещества). Там же было допущено, что хотя бы часть наблюдаемой у объектов Хербига—Аро радиальной скорости является остаточной скоростью разлета объектов (другими авторами предполагалось, что радиальная скорость является скоростью истечения газа из объектов), а тот факт, что наблюденные радиальные скорости в основном были отрицательными, в [2] объяснялся тем, что нам видны, в основном, объекты, приближающиеся к нам; удаляющиеся же объекты из-за большого поглощения были бы, в основном, не видны. Недавние работы Хербига и Джонса [3, 4] подтвердили гипотезу о выбросе объектов Хербига—Аро. В этих работах определены тангенциальные скорости нескольких объектов Хербига—Аро. Эти скорости оказались порядка 50—200 км/с, что сравнимо со значениями радиальных скоростей. Из-за больших значений скоростей ошибки их измерений довольно малы — $\sim$ 10%.

Для дальнейшего существенно, что объекты Хербига—Аро HH 1, HH 2, HH 39 являются *сложными объектами*. Каждый из этих объектов состоит из группы *отдельных сгущений*. Приведенные в [3] и [4] тангенциальные скорости сгущений в группах имеют разные значения, однако в этих работах не приводится никакого объяснения этому явлению.

Нам кажется, что как разные значения величин скоростей сгущений в группах, так и разные направления этих скоростей можно объяснить следующим образом. Предположим, что группы сгущений образуются при распаде каких-то более массивных тел, вышедших из звезд, причем этот распад может происходить как в виде одноактного явления (тогда мы вправе ожидать образования группы в виде разлетающихся в разные стороны объектов), так и в виде последовательных выбросов (что приведет к вытянутой группе в виде цепочки). Как было уже сказано выше, среди известных групп объектов Хербига—Аро встречаются как группы в виде цепочек, так и группы в виде систем типа Трапеции.

2. *Движения в конфигурациях типа Трапеции.* Рассмотрим теперь объекты HH 1, HH 2 и HH 39. При этом обратим внимание на то, что каждый из этих объектов в отдельности состоит из группы сгущений.

На рис. 1 дано распределение сгущений в объекте HH 1. Приняв, что массы сгущений A, C, D и F равны (так как их светимости примерно одного порядка), можно найти скорость тела, при распаде которого образовались эти сгущения. Для этого нужно векторно сложить скорости этих сгущений и полученный результат разделить на число сгущений (используется закон сохранения импульса). Получим 240 км/с (позиционный угол 326°). Теперь можно получить значения скоростей сгущений A, C, D и F в системе, которая движется с полученной выше скоростью. Будем иметь следующие значения скоростей и позиционных углов: для A: 90 км/с, 127°; для C: 38 км/с, 168°; для D: 10 км/с, 353°; для F: 115 км/с, 314°.

Эти скорости нанесены на рис. 1. Как видно из этого рисунка, объекты A и F разлетаются, а C и D расходятся. Из того же рисунка можно заключить о возможном наличии некоторого общего вращательного момента. Здесь мы считаем преждевременным обсуждать механизм его появления.

Обратимся теперь к объекту HH 2. В этом объекте можно выделить цепочку, состоящую из сгущений C, B, G, E и систему типа Трапеции, состоящую из сгущений A, D, H, I. Можно предположить, что в данном случае мы имеем дело с двумя последовательными распадами. Сначала первоначальное тело распалось на два объекта, а затем один из этих объектов образовал цепочку, а второй — систему типа Трапеции. Со скоростями сгущений из последней группы проделаем действия, аналогичные проделанным выше. Для скорости первоначального тела до распада получим 175 км/с (позиционный угол 162°). После вычитания этой скорости поочередно из

скоростей объектов A, D, H, I будем иметь следующие значения остаточных скоростей: для A: 30 км/с, 20°; для D: 110 км/с, 319°; для H: 79 км/с, 123°; для I: 64 км/с, 173°.

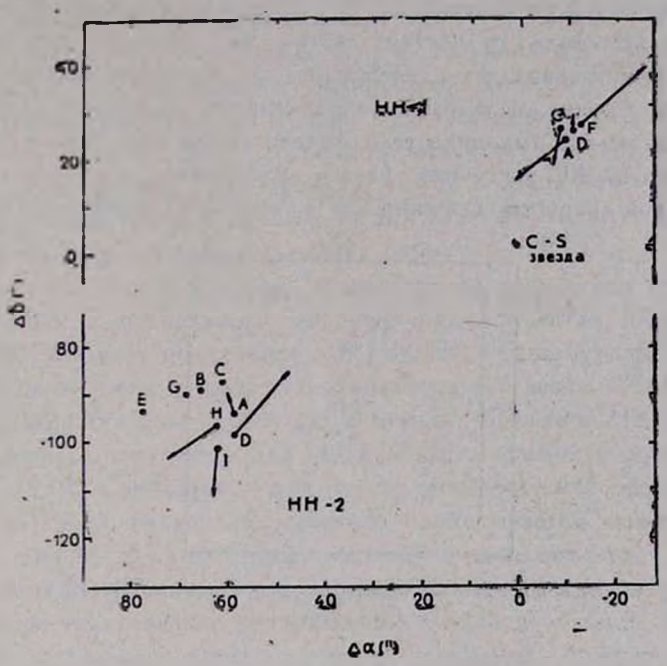

Рис. 1. Значения скоростей сгущений, образующих объекты HH 1 и HH 2, в системе центра инерции.

Как видно из рис. 1, в системе координат, которая движется со скоростью тела до распада, группа, состоящая из сгущений A, D, H, I, расходится, причем и в данном случае можно сделать вывод о наличии некоторого общего вращательного момента.

Рассмотрим объект HH 39. Он состоит из сгущений A, B, C, D, E и F. Для A, C, D, E в [4] приведены тангенциальные скорости. Для средней скорости этих сгущений будем иметь 218 км/с, 349°. Направление этой скорости очень близко к направлению на звезду R Mon (350°.5). После вычитания этой скорости из скоростей отдельных сгущений будем иметь: для A: 57 км/с, 347°; для C: 139 км/с, 50°; для D: 168 км/с, 179°; для E: 99 км/с, 284°.

Значения и направления остаточных скоростей отдельных сгущений, образующих объект HH 39, нанесены на рис. 2. Как видно из этого рисунка, сгущения A и D расходятся, чего нельзя сказать о E и C. Можно предположить, что к востоку от E есть сгущение, составляющее с E пару расходящихся сгущений, а к западу от C — сгущение, составляющее с C пару

расходящихся сгущений. К востоку от E есть сгущение F, для которого не определена тангенциальная скорость (видимо из-за слабости объекта), а к западу от C сгущений не видно. Возможно, что сгущение есть, но оно слабое и не получается на пластинках. О существовании такого сгущения может свидетельствовать то обстоятельство, что скорость системы центра инерции сгущений совпадает с теперешним направлением на звезду R Mon. Эта скорость должна была быть направлена на положение звезды в тот момент, когда из нее выходило тело, образовавшее впоследствии сгущения, что находится на 40″ восточнее (здесь мы воспользовались данными о тангенциальной скорости сгущения «а» в NGC 2261, приведенными в [4]).

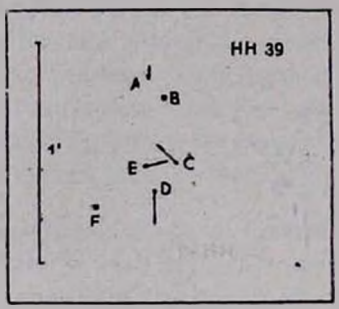

Рис. 2. Значения скоростей сгущений, образующих объект HH 39, в системе центра инерции.

Образование сгущений можно представить следующим образом. Тело, вышедшее из звезды R Mon, незадолго до достижения нынешнего положения объекта HH 39, распалось на три части, каждая из которых в свою очередь образовала пару расходящихся сгущений (соответственно F и E, A и D, C с невидимым сгущением).

Таким образом можно отметить, что в системе центра инерции группы сгущений, составляющих объекты HH 1, HH 2 и HH 39, имеют тенденцию к расхождению.

3. *О гипотезе распада.* Здесь нужно упомянуть, что в [3, 4], исходя из того, что скорости сгущений в группах примерно параллельны, причем как бы исходят из расположенных поблизости звезд: HH 1 и HH 2 из звезды C—S, которая является типа T Тельца, а HH 39 — из R Mon, допущено, что объекты Хербига—Аро могли быть выброшены из этих звезд. Альтернативой выходу сгущений из звезд является предположение о сообщении скорости звездным ветром уже существующим в облаке сгущениям. Однако это предположение здесь не рассматривается. Если принять, что объекты Хербига—Аро были выброшены из звезд, то в пользу гипотезы последующего распада можно привести следующее рассуждение.

Размеры групп сгущений, образующих объекты HH 1, HH 2 и HH 39, во много раз меньше расстояний этих групп от предполагаемого места их выброса (HH 1 и HH 2 от звезды C—S, HH 39 — от звезды R Mon), однако скорости этих сгущений довольно разные, что должно было привести к расширению групп до размеров, сравнимых с расстоянием до предполагаемого места их образования, чего не наблюдается. Поэтому напрашивается вывод об образовании сгущений, входящих в группу, не из звезды, а из первоначального тела, которое было выброшено из звезды и успело к моменту своего распада пройти путь, значительно больший, чем теперешние размеры группы. Если принять, что тело распалось в пределах теперешних размеров групп сгущений, то для времени жизни этих сгущений получится величина порядка нескольких сотен лет.

В работе Хербига и Джонса [5] приводятся результаты исследований тангенциальных и радиальных скоростей ряда объектов Хербига—Аро. Интересный результат получается для HH 32A. Тангенциальная скорость этого объекта 54 км/с, причем она направлена от звезды AS 353A, а для радиальной скорости получаются два значения: 30 км/с и 210 км/с, причем бо́льшая скорость получается для части объекта, расположенного ближе к звезде AS 353A, а меньшая — для части, расположенной дальше от звезды. В [5] бо́льшая радиальная скорость приписывается звездному ветру, выходящему из AS 353A, который проникает в часть объекта, а весь объект движется с намного меньшей скоростью. Однако если принять приведенное в [5] пространственное расположение звезды и объекта HH 32A, то для скорости звездного ветра получится довольно большое значение: > 400 км/с. Нам кажется более вероятным, что в данном случае мы имеем дело с делением объекта на две части, каждая из которых имеет скорость ~ 100 км/с относительно центра инерции. В работе [6] рассматриваются объекты HH 32 A, B, а также расположенный в противоположной относительно звезды AS 353A стороне объект HH 32C. Радиальные скорости всех трех объектов имеют несколько компонентов, значения которых лежат в интервале от 20 км/с до 380 км/с, причем последнее значение у всех трех объектов примерно одинаково. Нам представляется, что все эти три объекта находятся в стадии деления, а компоненты радиальных скоростей являются радиальными скоростями отдельных сгущений. Сравним значения этих компонентов радиальных скоростей со значениями тангенциальных скоростей сгущений, составляющих объекты HH 1, 2 и 39. Тангенциальные скорости сгущений, составляющих объекты HH 39, лежат в интервале (60—310) км/с, сгущений, составляющих HH 1 — (150—350) км/с, а HH 2 — (60—294) км/с, то есть спять верхние значения скоростей у этих групп сгущений довольно близки. Однако при допущении о сообщении этим объектам скорости звездным ветром нельзя принять (как это сделано в [6] относительно объектов HH 32 A, B и C),

что это сходство вызвано тем, что звездный ветер имеет скорость порядка 350 км/с, так как скорости других сгущений намного отличаются от этого значения. В рамках предложенной в данной работе гипотезы можно дать следующее объяснение близости значений наибольших скоростей. Выше получены значения скоростей тел, распад которых приводит к образованию групп сгущений: 240 км/с для HH 1, 175 км/с для HH 2 и 218 км/с для HH 39; эти значения довольно близки. Близки также значения средних скоростей сгущений в системе центра инерции: 63 км/с для HH 1, 71 км/с для HH 2 и 114 км/с для HH 39. Из примерного равенства этих двух типов скоростей и следует упомянутое выше сходство максимальных значений скоростей сгущений в разных группах.

В работе Мундта и др. [6] есть еще одна новая для объектов Хербига—Аро деталь: была наблюдена перемычка, связывающая звезду AS 353A с объектами Хербига—Аро HH 32 A и B, причем эта перемычка видна через фильтры, пропускающие в эмиссионных линиях. Наличие такой перемычки можно объяснить как след, оставленный после выброса объектов HH 32 A и B из звезды AS 353A.

В [7] рассчитаны радиальные скорости нескольких объектов Хербига—Аро. Случай наличия двух, отличающихся на $\sim$ 200 км/с радиальных скоростей был наблюден у объекта HH 46. Возможно, что и здесь мы имеем дело со случаем, когда два объекта еще не успели пространственно разделиться.

4. *Плотность в окрестности объектов Хербига—Аро.* Из наблюдений эмиссионных линий, содержащихся в спектрах объектов Хербига—Аро, для массы сгущений, в которых образуются эти линии, получается величина порядка 20 масс Земли. Светимость же объекта HH 1 при учете ультрафиолетового излучения получается больше светимости Солнца ($L \sim 4 \cdot 10^{33}$ эрг/с [8]). Это несоответствие массы и светимости было отмечено и в [8].

Плотность атомов водорода в направлении на объекты Хербига—Аро была определена с помощью наблюдения молекул в радиодиапазоне, и в большинстве случаев получались величины порядка $10^4 - 10^5$ см$^{-3}$ [9]. Можно полагать, что эта плотность относится к слоям, расположенным в молекулярных облаках глубже, чем объекты Хербига—Аро. Мы хотим предложить здесь способ оценки плотности в непосредственном окружении объектов Хербига—Аро. Как известно, некоторые одиночные объекты имеют отростки, направленные в сторону места их возможного выброса [2]. Можно предположить, что эти отростки являются следом, оставленным данным объектом Хербига—Аро. Объекты Хербига—Аро (из-за высокой скорости) при прохождении через среду ионизуют ее. Высвечивание ионизованной области происходит в течение определенного времени. Зная ско-

рость объекта Хербига—Аро, можно найти по длине отростка время высвечивания. Воспользовавшись выражением, связывающим характерное время высвечивания газовой оболочки и электронную плотность этой оболочки, приведенным в монографии Соболева [10] $t_* = 1/n_e \sum_i A_{ci}$, можно найти электронную плотность или же, при предположении $n_e \sim n$, и примерную плотность атомов водорода. Так, для HH 35 длина отростка 6″, расстояние до HH 35 примерно 500 пс, для скорости HH 35 примем значение 100 км/с. Получим $n_e \sim 10^3$ см$^{-3}$ и, следовательно, $n \sim 10^3$ см$^{-3}$. Для окрестности объекта M 16 HH 1 получается этим способом плотность 10^2 см$^{-3}$, что на порядок меньше плотности, получаемой по линиям излучения.

Отсюда можно заключить, что объект HH 35 еще не вышел из облака, однако он находится не в самых плотных областях (то же самое можно сказать и об объекте M 16 HH 1). Вышеназванные оценки всего на порядок меньше плотности, получаемой для объектов Хербига-Аро по линиям излучения. Однако трудно представить, что тело, имеющее скорость порядка сотен километров в секунду, способно долго и беспрепятственно двигаться через среду, по плотности почти равную плотности тела. Можно предположить, что внутри объектов Хербига—Аро есть более плотные ядра.

В заключение можно сказать, что в данной работе показано, что в системе центра инерции группы сгущений, из которых состоят объекты HH 1. HH 2 и HH 39, имеют тенденцию к расширению в системе центра инерции, а также приводятся факты в пользу предположения о том, что объекты Хербига—Аро содержат плотные ядра.

Автор благодарит академика В. А. Амбарцумяна за внимание к работе и обсуждение ее результатов, а также рецензента за ценные замечания.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

SOME QUESTIONS CONCERNING THE FORMATION AND STRUCTURE OF HERBIG — HARO OBJECTS

A. L GYULBUDAGHIAN

On the basis of data concerning the tangential velocities of condensations, the groups of which compose the objects HH 1, HH 2, HH 39, a conclusion about the expansion of these condensations in the centre of inertia system has been made. Hence a suggestion about the formation of these groups by a decay of a more massive body is inferred.

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. А. Амбарцумян*, Сообщ. Бюраканской обс., 15, 3, 1954.
2. *А. Л. Гюльбудагян*, ДАН Арм.ССР, 65, 35, 1977.
3. *G. H. Herbig, B. F. Jones*, A. J., 86, 1232, 1981.
4. *B. F. Jones, G H. Herbig*, A. J., 87, 1223, 1982.
5. *G. H. Herbig, B. F. Jones*. Preprint, 1983.
6. *R. Mundt, J. Stocke, H. S. Stockman*, Ap. J., 265, L71, 1983.
7. *M. A. Dopita*, Ap. J. Suppl. ser., 37, 117, 1978.
8. *K.-H. Bohm, E. Bohm-Vitense, E. W. Brugel*, Ap. J., 245. L113, 1981.
9. *R. B. Loren, N. J. Evans II, G. R. Knapp*, Ap. J., 234, 932, 1979.
10. *В. В. Соболев*, Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет, ГИТТЛ, М., 1956, стр. 351.