

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ТУМАННОСТЕЙ

С большим удовольствием и теплой симпатией автор посвящает эту работу академику Дж. Ксантакису

1. ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Происхождение и эволюция звезд всегда привлекали внимание астрофизиков. Решение этой проблемы многими из них считалось главной целью их науки. Большие усилия уделяли этой проблеме теоретики.

Намного меньше внимания было уделено проблеме происхождения и эволюции туманностей как отдельных объектов. В учебниках туманности часто рассматриваются в главах, посвященных «межзвездной среде». Косвенным образом это создает впечатление, что туманность—это нечто лишнее индивидуальности или нечто вроде флуктуаций «межтуманностной материи». В действительности же туманности являются дискретными объектами и их взаимные расстояния, как правило, намного превосходят их диаметры. Поэтому следует предположить, что они должны быть взаимно независимыми.

Правда, некоторые туманности в течение времени рассеиваются в окружающем пространстве (например, планетарные туманности). Но этот факт скорее связан с их конечной судьбой, нежели с происхождением.

Даже поверхностное изучение известных фактов относительно галактических туманностей достаточно, чтобы заключить, что:

а) Наблюдения нам дают намного больше прямой и богатой информации о динамических изменениях и физических процессах, происходящих в туманностях, чем в случае звезд, где наши надежды получить скромное количество прямой информации о внутренней структуре из наблюдений нейтринных потоков хотя бы для одной звезды, пока еще не вполне материализованы.

б) Изменения, которые имеют место в туманностях, во многих случаях тесно связаны с какими-то переломными точками в жизни некоторых звезд. Поэтому любой вывод о происхождении и эволюции туманностей может служить в качестве ценной информации об эволюции и, может быть, даже о происхождении звезд.

Имея в виду связь между указанными двумя проблемами, мы здесь постараемся дать краткий обзор идей о происхождении туманностей. Наша цель—привлечь внимание читателей к этой более доступной стороне сложных эволюционных процессов, имеющих место в Галактике.

2. СЛУЧАЙ, КОГДА ТУМАННОСТЬ СВЯЗАНА ЛИШЬ С ОДНОЙ ЗВЕЗДОЙ

Существует несколько классов туманностей более или менее правильной формы, для которых та или иная форма связи с определенной звездой почти очевидна. Решение проблемы происхождения для которых из таких классов туманностей, с точки зрения современной астрофизики, можно считать почти тривиальным. Давайте рассмотрим эти случаи.

а) В течение вспышки Новых мы наблюдаем образование небольших *расширяющихся туманностей* вокруг них. Они расширяются со скоростью около 1000 км/сек, и через несколько десятилетий расширяющаяся туманность исчезает в пространстве, которое окружает Новую. Нет сомнений, что туманность выброшена из звезды и состоит из вещества, принадлежащего прежде внешним слоям звезды. Выброшенная масса обычно бывает порядка $10^{-5} M_{\odot}$.

б) Образование *планетарных туманностей* является результатом выбрасывания внешних слоев их звездных ядер. Образованный в этом случае туманный объект намного более массивен, чем оболочки, выбрасываемые Новыми, и имеет массу между $0.01 M_{\odot}$ и $0.1 M_{\odot}$. Планетарные туманности тоже расширяются в окружающем пространстве, однако они доступны наблюдениям в течение около 10^5 лет. По-видимому, в течение жизни нашей Галактики возникли и исчезли сотни миллионов планетарных туманностей.

в) *Остатки сверхновых* (ОСН)—туманности, которые образовались вследствие огромных звездных взрывов. Считается, что их первоначальная масса приблизительно порядка одной солнечной массы. Однако в течение расширения первоначальная масса часто увлекает окружающее межзвездное вещество. Таким образом, масса расширяющейся оболочки может расти чрезмерным образом. Так иногда образуются туманности большой массы.

г) Теперь кажется совершенно определенным, что *кометарные туманности* образуются из вещества, которое выброшено переменными звездами, находящимися в области их «головы».

д) Некоторые звезды класса Вольфа-Райе (ВР) нашей Галактики окружены круглыми туманностями, похожими на NGC 6888. Подобные случаи наблюдаются и в Большом Магеллановом Облаке (БМО). Наблюдательные данные, связанные как с этими звездами, так и с окружающими туманностями, подсказывают, что такие туманности образуются из вещества, изверженного звездами ВР таким же путем, как ОСН образовались вследствие взрыва сверхновой.

Рассмотренные выше пять случаев охватывают все известные классы туманностей более или менее правильной формы. Мы видим, что во всех пяти случаях эволюционные переходы материи между плотными звездными телами и разреженным туманным состоянием идут в одном и только в одном направлении:

плотное вещество \rightarrow диффузное вещество.

3. ПРОЦЕССЫ В ДИФФУЗНЫХ ТУМАННОСТЯХ

Около 35 лет назад, когда мы начали исследование звездных ассоциаций, на нас произвел огромное впечатление тот факт, что почти каждая ОВ-ассоциация содержит одну или несколько диффузных туманностей. Исходя из этого, был сделан вывод о том, что образование групп молодых звезд должно происходить одновременно с образова-

нием туманностей, поскольку сами формы туманностей указывали на их неустойчивость и молодость.

Тем не менее многие теоретики, исходя из идей классической космогонии, поспешили из факта существования молодых туманностей в звездных ассоциациях сделать заключение, что здесь мы являемся свидетелями непосредственного преобразования массы туманностей в молодые звезды.

Были предложены различные механизмы так называемого коллапса, но в то время мы нуждались больше в наблюдательных данных, чем в разработках моделей конденсации вещества.

В результате применения новых наблюдательных методов (наблюдения водорода на 21 см, радионаблюдение молекул, инфракрасные наблюдения, наблюдения тонких деталей с помощью ИСДП*) в следующем периоде ускорилось накопление необходимых данных. Были обнаружены некоторые качественно новые явления. Среди них: компактные НII области, находящиеся глубоко в холодных и темных частях туманностей, мазеры OH и H₂O, горячие области инфракрасного излучения. Было показано, что многие оптические яркие эмиссионные туманности, которые окружают группы молодых OB-звезд, расширяются со значительной скоростью. Например, в туманности Розетка вокруг скопления NGC 2244 скорость расширения достигает до 20 км/сек. Совершенно ясно, что такие случаи прямо противоречат идее конденсации.

Однако, позднее, когда было показано, что туманности в OB-ассоциациях содержат большие холодные облака водородных и других молекул и что градиент скорости в них, как правило, очень мал, научное мнение снова склонилось в пользу процессов конденсации. А открытие компактных областей ионизованного водорода внутри молекулярных облаков было расценено как прямое доказательство процессов коллапса внутри молекулярных облаков.

Истина же такова, что открытие компактных областей ионизованного водорода в таких облаках может служить лишь прямым свидетельством о процессах образования звезд, но отнюдь не является прямым свидетельством о процессах коллапса.

4. ИНФРАКРАСНЫЕ ИСТОЧНИКИ В ДИФФУЗИОННЫХ ТУМАННОСТЯХ

Согласно классификации Роузена-Робинсона [4] все диффузные туманности принадлежат одному из следующих двух классов:

а) Холодные туманности без заметного инфракрасного излучения в области 1—10 мкм и

б) Облака, которые содержат инфракрасный источник (ИКИ); (или источники). Средние массы облаков второго типа превосходят средние массы холодных облаков. Облака второго типа, как правило, находятся в OB-ассоциациях.

Присутствие ИКИ очень часто совпадает с присутствием компактных НII областей. В этих случаях есть вполне естественное объяснение происхождения ИК излучения. Пыль в облаке полностью поглощает излучение OB-звезды (звезд) и нагрета до температур нескольких сотен градусов.

Однако есть случаи, когда облако содержит ИКИ без радио-континуума. Как известно, подобный континуум является неизбежным последствием присутствия НII области.

* Интерферометр со сверхдлинным плечом.

Приверженцами гипотезы коллапса эти случаи были рассмотрены как области, в которых окружающее молекулярное облако вследствие коллапса образовало очень молодую звезду, на которую все еще аккрецирует вещество, падающее из облака. Лучшим примером подобного ИК источника может служить источник Клейнмана-Лоу со своим инфракрасным максимумом $IR_{c.}$ Было предположено, что поглощение лаймановского континуума падающей пылью в такой ранней стадии формирования звезды может быть достаточно сильным, чтобы предотвратить образование HII области.

Наблюдения показали, что в обоих случаях (при присутствии или отсутствии компактной HII области) источник сопровождается мазером или группой мазеров (в молекулярных линиях OH или H_2O). Они были объяснены как следствие возбуждения газов инфракрасным излучением источника.

В конце семидесятых годов многие теоретики были убеждены, что дальнейшее детальное исследование объектов, похожих на область Клейнмана-Лоу в Орионе, даст в результате ясную картину процесса коллапса в молекулярных облаках и образования звезд-коконов.

5. НОВЫЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

За последние три года были получены новые наблюдательные данные, которые полностью изменили ситуацию, описанную выше.

а) Измерения профилей радиолний CO инфракрасных источников, описанных выше типов со значительным угловым разрешением (десятки арксекунд) показали их доплеровское уширение со скоростями 80—90 км/сек и даже больше. Это значит, что скорости по отношению к центру масс объекта порядка 40 км/сек. В случае падения вещества при конденсации массы $10^3 M_{\odot}$ ожидаемые скорости с трудом могут превысить 10 км/сек. Одною лишь этого достаточно, чтобы отрицать картину гравитационного сжатия.

В случае туманностей Клейнмана-Лоу профили похожи на суперпозицию двух профилей: один профиль показывает высокую скорость (плато шириною в 100 км/сек), другой—низкую скорость (ширина 40 км/сек).

б) В каждом случае дисперсия радиальных скоростей мазеров H_2O в таких ИК источниках и вокруг них находится в хорошем согласии с шириной профилей CO в областях инфракрасного излучения. Очевидно, что это свидетельствует о тесной связи между системами H_2O мазеров и молекулярным потоком, уширяющим линию. Мазеры погружены в потоки.

в) В результате ряда высокоточных наблюдений посредством интерферометров со сверхдлинным плечом положений и определения собственных движений H_2O мазеров было установлено, что система мазеров внутри инфракрасной области Клейнмана-Лоу в туманности Ориона и вокруг нее расширяется [2]. Центр расширения был определен с достаточно высокой точностью.

В этой туманности есть две расширяющиеся группы мазеров. Одна группа расширяется со скоростью 18 км/сек, другая—со скоростью более 40 км/сек. Это находится в довольно хорошем согласии как с дисперсией лучевых скоростей мазеров, так и с профилями линий CO.

Более запутанная картина для тангенциальных движений была получена из аналогичного исследования собственных движений H_2O мазеров в W 51—Главной. Число H_2O мазеров здесь больше, и общий рисунок отклоняется от картины *радиального* расширения. Тем не менее

вся область находится в энергичных движениях и нет сомнений, что большие скорости стимулированы процессами истечения. В любом случае модель коллапсирования туманности кажется совершенно невозможной.

6. ОЦЕНКА ВЫБРОШЕННОЙ МАССЫ

По оценке Гензела и др. [2] в случае истечения из Молекулярного Облака Ориона (МОО) интенсивность выброса массы составляет около $10^{-3} M_{\odot}$ за год. В то же время продолжительность истечения, как можно заключить из размеров туманности Клейнмана-Лоу, не меньше $2 \cdot 10^3$ лет. Следовательно, полная масса, выброшенная из центрального тела в течение процесса истечения должна превышать $2M_{\odot}$.

Первый важный вывод из этих наблюдений тот, что прирост массы молекулярного облака в Орионе (МОО—1) получает от тела, расположенного в инфракрасном источнике IR_{C2}.

Мы не знаем точного значения массы МОО—1. Однако $10^3 M_{\odot}$ нам кажется приблизительно правильным значением этой величины. Сравнивая прирост массы вследствие истечения, наблюдаемого в области туманности КЛ, с этой массой МОО—1, мы видим, что относительное увеличение массы туманности сравнительно мало—около 10^{-3} настоящей массы МОО—1.

Однако, если явление истечения повторимо, такой прирост может играть важную роль в образовании массы МОО—1. Рассмотрим теперь свидетельства в пользу повторности истечения.

7. ПОВТОРНОСТЬ ВЫБРОСОВ

Согласно Даунсу и др. [2] некоторые свойства, наблюдаемые в МОО—1 и W 51—Главной (широкие молекулярные линии, присутствие мазеров), типичны для молекулярных облаков, содержащих инфракрасные источники. Поэтому очень возможно, что наблюдения молекулярных линий в таких облаках с большим угловым разрешением, так же как и определения собственных движений находящихся там H₂O мазеров, откроют в них похожую кинематическую картину. И, поскольку большинство ОВ-ассоциаций содержит диффузные туманности с инфракрасным ядром, это означает, что *подобное явление выбросов в течение большей части жизни ОВ-ассоциаций в них сохраняется.*

Так как продолжительность жизни ОВ-ассоциаций составляет около 10^7 лет, мы можем считать с некоторой уверенностью, что в течение $5 \cdot 10^6$ лет продолжается обогащение облаков, принадлежащих ассоциации. Конечно, центр истечения может менять свое место, процесс выбросов может произойти из различных тел. *Но полный прирост массы облаков в ассоциациях за время их жизни может дойти до $10^4 M_{\odot}$.*

Таким образом, мы можем предположить, что выбросы из некоторых неизвестных источников, похожих на тех, какие мы наблюдаем в МОО—1, могут играть *важную*, если не сказать решающую, роль в формировании рассматриваемых облаков.

Конечно, мы не знаем, какие звезды или другие плотные тела являются источниками выбросов таких больших масс. Но мы знаем, что бок о бок с явлением истечения в КЛ-подобных областях происходит выброс из ВР и О звезд, которые наблюдаются в ассоциациях. Количество веществ, которое выбрасывается О-звездой за год, по крайней мере, на два порядка меньше, чем в случае КЛ-области, но зато больше продолжительность выброса. Необходимо принять во внимание и

то, что в О-ассоциациях одновременно существует несколько О-звезд. Однако вполне возможно, что полное количество вещества, привнесеного О и В звездами в туманность, меньше, чем молекулярное истечение типа КЛ. Другим источником массы туманностей является большое количество переменных звезд типа Г Тельца. Может быть, даже интегральный выброс массы, обусловленный их деятельностью, больше, чем полная масса, выбрасываемая звездами типа ОВ. Известно, что наблюдения с помощью IUE показали, что большая часть звезд типа Т Тельца показывает в линиях ультрафиолетовой части спектра компонент поглощения типа Р Лебеда, но не показывает красномещенный компонент поглощения. И вполне может оказаться, что вводимая ими масса больше ожидаемой.

Наш вывод таков, что исходя исключительно из наблюдательных данных, мы можем допустить, что *большие туманности в ОВ-ассоциациях находятся в процессе роста. Они снабжаются массами, выброшенными плотными телами, находящимися внутри них.*

Существует ли необходимость в других факторах, образующих туманности? На этот вопрос мы не можем дать окончательного ответа. Однако обобщенная картина происхождения всех туманностей в Галактике из масс, выброшенных плотными телами, в настоящее время кажется более привлекательной, чем когда-либо.

8. ОБЩЕЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД И ТУМАННОСТИ

Целью настоящей статьи было показать, что мы можем попытаться проследить происхождение диффузных туманностей без умозрительных предположений, оставаясь на чисто наблюдательной почве. Возможность такого подхода связана с фактором, что каждая туманность прозрачна для некоторых частот, которые мы имеем возможность использовать для наблюдений. В случае некоторых туманностей правильной формы одни оптические наблюдения дают необходимые данные. Теперь радионаблюдения в частотах молекулярных линий дают решение для диффузных туманностей. ИСДП измерения мазеров обеспечивают нас чувствительными данными о внутренней кинематике туманностей в областях сравнительно современного или сравнительно недавнего звездообразования. Но мы не можем получить аналогичных данных о внутренней структуре и динамических процессах в звездах, которые находятся в процессе формирования.

Однако даже частичное решение задачи происхождения туманностей содержит очень важную информацию о происхождении звезд. Первой и самой важной информацией является почти полное отсутствие свидетельств в пользу явления коллапса в туманностях. Вместо этого там встречаются явления выброса и сильных движений большого количества вещества, имеющих место в областях формирования звезд. Поэтому ясно, что процессы образования звезд и туманностей идут вместе. Идея об их общем происхождении теперь кажется очень вероятной.

Во время наших исследований ОВ-ассоциаций, нами было высказано мнение о том, что процесс образования звезд в ассоциациях продолжается в небольших группах. Трапедия Ориона—одна из таких групп. Поскольку туманность Клейнмана-Лоу расположена очень близко к этой кратной системе, создается впечатление, что здесь мы наблюдаем одновременный процесс образования новой звездной группы и выброса туманной массы из некоторого очень массивного тела. Воз-

можно также, что сначала было выброшено туманное вещество, а затем образовались звезды.

В обоих случаях должно было существовать некоторое тело, из которого получается и вещество звезд и выброшенная диффузная материя. Таким образом, мы возвращаемся к идее *протозвезд* [1].

В середине этого столетия идея о массивных протозвездных (пока еще не доступных для наблюдателей) встретила мало симпатии среди теоретиков, которые предпочитают продолжать создание моделей гравитационного коллапса. Целое поколение было вскормлено построением этих моделей. Хотя идея коллапса произвела на свет большое число диссертаций о моделях конденсаций, она оказалась почти бесплодной в объяснении того, как образуются звезды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян В. А. ДАН АрмССР, 16, 97, 1953.
2. Downes D., Genzel R., Becklin E. E. and Wynn-Williams C. G., Ap. J., 244, 869, 1981.
3. Genzel R., Reid M. J., Hoan J. M. and Downes D. Ap. J., 244, 884, 1981.
4. Rowan-Robinson M. Ap. J., 234, с. 111, 1979.