

О ПРИРОДЕ КОМЕТООБРАЗНЫХ ТУМАННОСТЕЙ*

Свечение кометообразных туманностей во многих случаях нельзя объяснить простым отражением излучения звезды. Многие факты свидетельствуют в пользу того, что свечение в этих случаях вызывается теми же причинами, что и непрерывная эмиссия в спектрах звезд типов Т Тельца и UV Кита. Как показано в другой работе автора, непрерывная эмиссия в спектрах звезд указанных типов является одним из проявлений процесса освобождения внутризвездной энергии. Такую же природу во многих случаях имеет свечение кометообразных туманностей. Сделана попытка установления связи между кометообразными туманностями и кометообразными включениями в диффузных туманностях.

В работе, которая была нами доложена на Совещании исследователей переменных звезд в мае 1954 г. в Ленинграде и которая в несколько расширенном виде печатается в «Сообщениях Бюраканской обсерватории», был подвергнут рассмотрению вопрос о природе непрерывной эмиссии, наблюдаемой в спектрах некоторых звезд типа Т Тельца и во время вспышек звезд типа UV Кита. Было показано, что непрерывное свечение, наблюдаемое в этих случаях, родственно по своей природе свечению кометообразных туманностей. Настоящая статья посвящена анализу имеющихся данных об этих туманностях.

1. Большинство известных нам кометообразных туманностей связано с той или иной звездой. При этом обычно звезда оказывается на остром конце туманности, образуя как бы ее «голову». В отдельных случаях (например у туманности около Т Тельца) звезда не находится в пределах видимой части туманности, но расположена таким образом, что ее можно считать находящейся на вершине воображаемого продолжения веерообразного изображения туманности. Почти во всех случаях положение звезды по отношению к туманности столь характерно, что не возникает никаких сомнений в их физической связи.

2. В подавляющем большинстве случаев звезды, являющиеся ядрами кометообразных туманностей, принадлежат к числу переменных звезд. Обычно это звезды типа Т Тельца. Поскольку в настоящее время

* Вопросы космогонии, 4, 76, 1955.

имеются все основания считать переменные типа Т Тельца карликами, только что прошедшими стадию своего формирования, наличие у звезды придатка в виде кометообразной туманности следует считать одной из особенностей наиболее ранней стадии в жизни звезды.

В некоторых случаях с одной кометообразной туманностью бывают связаны сразу две переменные звезды. При этом генетическая связь между переменными звездами не вызывает сомнения, ибо кометообразные туманности имеют обычно очень малые угловые размеры, и случайное проектирование на туманность или непосредственно около нее второй переменной звезды, и притом того же типа, имеет ничтожную вероятность. Поэтому в подобных случаях переменные звезды должны рассматриваться как двойные системы. Впрочем, это вовсе не означает, что в указанных системах должно быть эллиптическое движение компонентов по отношению друг к другу. Скорее всего, исходя из космогонических соображений, аналогичных тем, которые нами были развиты по другому поводу [1], следует ожидать, что в большинстве случаев это должны быть системы с положительной полной энергией.

Можно привести следующие примеры связи переменных звезд с кометообразными туманностями: звезда Т Тельца связана с туманностью Хинда NGC 1555, звезда R Единорога связана с туманностью NGC 2261, звезда DG Тельца связана со светлой туманностью Барнарда B100, звезда RY Тельца связана с B96, звезда BM Андромеды — с безымянной туманностью, пара переменных DD Тельца и CZ Тельца — с туманностью B10, звезда R Южной Короны — с туманностью NGC 6729 и TY Южной Короны — с туманностью NGC 6726. Во всех перечисленных восьми случаях мы имеем связь звезд типа Т Тельца с кометообразными туманностями. К этим случаям примыкают два других: переменная НК Ориона, относящаяся к типу XX Змееносца и имеющая спектр A4ep, и соседняя с ней звезда HI Ориона связаны с кометообразной туманностью B122, а вспыхнувшая в 1937 г. звезда FU Ориона связана с безымянной кометообразной туманностью.

3. Некоторые из кометообразных туманностей являются переменными. В этом отношении классическими примерами являются следующие три туманности: NGC 1555, NGC 2261 и NGC 6729. Естественно, что первым предположением явилась гипотеза о том, что туманности отражают свет связанных с ними звезд, которые сами являются переменными. Непрерывный спектр кометообразных туманностей свидетельствует как будто в пользу этого предположения. Однако на примере Т Тельца выяснилось, что нет сколько-нибудь хорошего соответствия между изменениями яркости туманности и звезды. В силу этого приходится считать, что по крайней мере значительная часть излучения кометообразной туманности имеет иное происхождение.

4. В случае кометообразной туманности В10 мы имеем разительный случай несоответствия между размерами туманности и звездной величиной связанной с ней звезды DD Тельца. Как установили Струве и Свингс, чтобы в этом случае объяснить свечение туманности отражением излучения звезды, нужно, чтобы звезда обладала блеском на семь величин бóльшим, чем наблюдаемый [2]. В частности, измерения показывают, что интегральный блеск туманности значительно превосходит блеск звезды. Отсюда можно заключить, что подавляющая часть излучения туманности не является отраженным светом звезды. Интересно, что как раз у звезды DD Тельца весьма резко выражено явление непрерывной эмиссии в спектре, вуалирующей линии поглощения.

5. Тот факт, что в спектрах многих звезд типа Т Тельца наблюдается сильная непрерывная эмиссия, указывает, как это было нами показано [3], на то, что в некоторых случаях в самых внешних слоях атмосфер этих звезд (а иногда, может быть, и вне пределов их атмосфер) протекает процесс нетеплового испускания очень больших количеств энергии, причем для этого испускания характерен непрерывный спектр. Приходится допустить, что необходимая для этих процессов энергия выносится значительными порциями из внутренних областей звезды и освобождается еще не известным нам способом во внешних слоях, превращаясь, в частности, в лучистую энергию. Поскольку звезды типа Т Тельца обладают этим свойством, то естественно полагать, что и свечение кометообразных туманностей, обладающих непрерывным спектром, может быть объяснено тем же механизмом непрерывной эмиссии. При этом следует только принять, что превращение энергии, вынесенной из недр звезды, в видимое излучение происходит уже в объеме самой кометообразной туманности.

6. Таким образом, причиной свечения кометообразной туманности в конечном счете является связанная с ней переменная звезда, хотя часто мы здесь не имеем простого механизма отражения света. В пользу непосредственной связи свечения туманности со звездой свидетельствует и тот простой факт, что кометообразная туманность около FU Ориона появилась сразу после вспышки этой звезды.

Исследование явлений в звездах типа UV Кита и Т Тельца показывает, что энергия, идущая на непрерывную эмиссию, выделяется из самой звезды определенными порциями практически мгновенно. Однако выделение этой энергии в виде непрерывной эмиссии требует некоторого времени. Для звезд типа UV Кита это время измеряется минутами, в случае Т Тельца — сутками. Сравнительная медленность изменений яркости кометообразных туманностей указывает на то, что в условиях туманности отдача энергии продолжается годы. О том, что иногда выделенная порция энергии полностью исчерпывается, говорит, например, факт полного ис-

15 Труды

чезновения туманности NGC 1555 в семидесятих годах прошлого века. Возобновление свечения этой туманности в конце прошлого века связано, очевидно, с выделением новой порции энергии из недр звезды. Разница в сроках высвечивания между верхними слоями атмосферы звезды и туманностью свидетельствует о том, что эти сроки зависят от условий, господствующих в среде, где происходит высвечивание.

7. Значительное число звезд типа Т Тельца встречается в различных светлых диффузных туманностях (большая туманность Ориона, туманность IC 434 в Орионе, NGC 2264, NGC 7023 и другие), образуя в них богатые Т-ассоциации. Переменные, наблюдаемые в Тельце, в том числе и такие, как DD Тельца, RY Тельца, T Тельца, DG Тельца, которые связаны с кометообразными туманностями, входят в большую темную диффузную туманность Тельца, образуя одну большую ассоциацию, состоящую из нескольких групп, подробно исследованных Холоповым [4]. Естественно, возникает вопрос: нет ли и в светлых диффузных туманностях, содержащих в себе большие группы звезд типа Т Тельца, таких, в которых наряду со звездами типа Т Тельца имеются кометообразные туманности? Понятно, что обнаружение подобных *кометообразных включений* в светлых туманностях должно быть гораздо более трудным делом, чем в случае темных туманностей, поскольку яркий общий фон диффузной туманности может послужить препятствием для их обнаружения. Однако имеющиеся данные свидетельствуют, что и в светлых туманностях наблюдаются отдельные кометообразные включения. Рассмотрим здесь несколько примеров таких включений.

8. *Большая туманность Ориона.* В районе туманности Ориона Харо [5] обнаружил небольшую кометообразную туманность, которая включена им в список пекулярных объектов туманности Ориона под номером 13а. В голове этой туманности находится весьма слабая инфракрасная звезда. Туманность видна на снимках в синих, красных и инфракрасных лучах, но связанная с нею звезда настолько слаба в синих лучах, что вообще не видна на синем снимке, почти не видна на красном снимке и заметна лишь на фотографии в инфракрасных лучах, будучи все же слабее туманности. Гипотеза об отражении света приводит и в этом случае к предположению, что свет звезды претерпевает в голове туманности столь сильное покраснение, что звезда становится инфракрасной. Между тем, мы знаем о наличии в области туманности Ориона известного числа других инфракрасных звезд столь же слабого блеска, не связанных с кометообразными туманностями. Поэтому более естественно предположить, что причиной свечения объекта 13а в синих лучах является его собственная непрерывная эмиссия.

Помимо объекта 13а, имеются данные еще о четырех кометоподобных объектах, находящихся сравнительно близко к Трапедии Ориона.

Это небольшие туманности, обнаруженные Харо на инфракрасных снимках и получившие у него обозначения 5а, 6а, 7а и 8а. Из них объекты 7а и 8а содержат в себе весьма слабые инфракрасные звезды, которые, вследствие их низкой светимости, не могут освещать связанные с ними кометообразные туманности. В двух других объектах (5а и 6а) звезды вовсе не обнаружены! Несмотря на это и несмотря на близость Трапеции, эти объекты излучают непрерывный спектр. Если бы их непрерывное излучение вызывалось прямым освещением от Трапеции или других горячих звезд, входящих в ассоциацию Ориона, то нельзя было бы понять тот факт, что эти туманности выделяются прежде всего в инфракрасных лучах. Поэтому естественно и в данном случае рассматривать свечение всех этих объектов как следствие непрерывной эмиссии, считая, что в случае объектов 5а и 6а звезды, обуславливающие появление непрерывной эмиссии, настолько слабы, что не выходят на снимках.

9. *Туманность S 140 в Орионе.* Существенную часть этой туманности составляет периферическое образование, имеющее вид довольно правильного, но неполного эллипса, сравнительно мало вытянутого. Туманность была открыта в Симеизе Шайном и Газе [6] и характерна тем, что, в свою очередь, составляет одну из деталей большой периферической туманности вокруг цепочки λ Ориона. Эта большая периферическая туманность тоже была открыта Шайном и Газе в Симеизе [7]. Прекрасный снимок туманности S 140, составляющей, как указано, деталь большого кольца вокруг λ Ориона, можно найти в работе Харо, Ириарте и Шавира [8]. В свою очередь, малая периферическая туманность S 140 имеет в качестве детали в своем центре кометообразную туманность B 122, которая связана со звездами НК Ориона и НИ Ориона. При этом звезда НК Ориона, как уже упоминалось, имеет спектр A4ep и является переменной типа XX Змееносца. Центральное положение кометообразной туманности B 122 и связанных с ней звезд по отношению к периферической туманности S 140 вряд ли может быть случайным и указывает на генетическую связь этих объектов.

10. *Туманность около FU Ориона.* Существует удивительное сходство между окрестностями FU Ориона и туманностью S 140. Около FU Ориона имеется небольшая кометообразная туманность, однако эта туманность вместе с FU Ориона находится внутри дугообразной газовой туманности, открытой Шайном и Газе [9], с общим протяжением около $30'$. Более того, эта дугообразная туманность находится на внешней стороне большого кольца вокруг цепочки λ Ориона и может также рассматриваться как некоторая деталь на этом большом кольце. Если это так, то получается полное сходство во взаимоотношениях звезды НК Ориона и связанной с ней кометообразной туманности с цепочкой λ Ориона, с одной стороны, и звезды FU Ориона и связанной с ней кометообразной ту-

манности с той же цепочкой — с другой. Нам кажется, что это сходство заслуживает большого внимания с космогонической точки зрения.

11. *Туманность IC 410*. Туманность IC 410 содержит в себе O-скопление NGC 1893. Согласно Шарплессу (см. [4]), в это скопление входят пять звезд типа O, несколько звезд типа B0 и другие звезды, имеющие более низкую светимость. В это скопление входит система типа Трапеции BD + 33°1026 и другие кратные системы. Туманность IC 410 имеет диаметр, превосходящий полградуса. Большая плотность изображения на снимках в лучах H_{α} (см. атласы Крымской и Алма-Атинской обсерваторий) указывает на то, что большая часть свечения связана с возбуждением газов упомянутыми выше горячими звездами. Однако в состав туманности входят два бросающихся в глаза образования, которые представляют собой кометообразные туманности. В списке Шайна и Газе они обозначены отдельными номерами S 129 и S 130. Туманность S 129 имеет длину порядка 5', а S 130 — порядка 7'. Особенно хорошо видны эти туманности на снимке 13d, во второй части атласа В. Г. Фесенкова и Д. А. Рожковского. В обоих случаях в районе «головы» кометообразной туманности находятся слабые звезды. Однако не может быть и речи о том, чтобы они могли освещать связанные с ними кометообразные туманности. В этих случаях соотношение Хаббла было бы нарушено почти в такой же степени, как и в случае звезды DD Тельца, связанной с кометообразной туманностью В 10. Поэтому возможно, что и в этом случае действует механизм непрерывной эмиссии.

12. Когда настоящая статья уже была готова к печати, в Бюракане была получена работа Хербига, посвященная исследованию звезд со спектрами типа Т Тельца в ассоциации Единорога [10]. Из этой работы видно, что кометообразная туманность S 167, которая, согласно Шайну и Газе, составляет южную деталь большой туманности NGC 2264, находится на окраине группировки звезд типа Т Тельца, окружающей звезду HD 47887 типа В3.

В голове туманности находится двойная звезда, обе составляющие которой (LH_{α} 61 и LH_{α} 62) имеют спектр типа Т Тельца. Более яркая составляющая LH_{α} 61 имеет спектр, описание которого почти точно совпадает с описанием спектра DD Тельца, находящейся в туманности В10 в Тельце. Соотношение между блеском переменной и размерами туманности в обоих случаях отличается на одну и ту же величину (около 7 звездных величин) от соотношения Хаббла. Наконец, в обоих случаях мы имеем дело с двойной звездой, обе составляющие которой относятся к типу Т Тельца. Разница заключается лишь в том, что около туманности S 167 имеется звезда HD 47887, которая, по-видимому, входит в ту же ассоциацию и может рассматриваться как возможный источник освещения туманности. Однако спектральные данные, относящиеся к

H_α 61, указывают на необычайно сильную непрерывную эмиссию в атмосфере этой звезды. У этой звезды, так же как и у DD Тельца, наиболее резко выражены аномальные явления, характерные для звезд Т Тельца: непрерывная эмиссия и большое число ярких линий водорода.

13. *Диффузная туманность IC 405*. С первого взгляда это обычная газовая туманность. Тот факт, что в ней заключена звезда AE Возничего, имеющая спектр типа O, позволяет считать, что свечение туманности объясняется обычным механизмом флуоресценции. Наличие ярких линий в спектре туманности подтверждает это заключение. Однако уже Гринстейн и Хеней [11] констатировали наличие заметного непрерывного спектра. Непрерывный спектр заметен также на снимке, полученном Г. А. Гурзядяном при помощи небулярного спектрографа Бюраканской обсерватории. Фотографии туманности IC 405 можно найти в атласах Крымской и Алма-Атинской обсерваторий.

Как показала в своей работе В. Ф. Газе [12], вид и строение туманности на снимке в лучах необычайно резко отличаются от ее вида и строения на снимке в фотографических лучах.

Разница заключается в том, что в фотографических лучах от звезды AE Возничего тянется яркая и довольно резко ограниченная струя, изогнутая в виде дуги, между тем как в лучах H_α эта наиболее выдающаяся деталь туманности совершенно не видна. Для предположения, что свечение струи может вызываться в основном излучением других ярких линий, встречающихся в спектрах диффузных туманностей, по-видимому, нет оснований. В самом деле, речь может идти здесь лишь о дублете λ 3727 (OH). Но трудно предполагать особенно сильное свечение этой линии в той части струи, которая близка к звезде AE Возничего, так как в этой части туманности кислород должен быть почти целиком вторично ионизован. Как сообщил мне Г. А. Шайн, на снимке, где линия λ 3727 весьма ослаблена, струя, исходящая из AE Возничего, резко выделяется. Поэтому естественно полагать, что свечение струи в значительной степени состоит из непрерывного спектра, подобного спектрам кометообразных туманностей. Сходство рассматриваемой струи с кометообразными туманностями состоит не только в том, что эта струя как бы вытекает из звезды, но и в том, что сама звезда является переменной, имеющей неправильные изменения блеска.

Заметим, что мы не знаем случаев, когда звезда типа O9 освещает в непосредственном соседстве с собою пылевую туманность. Остается предположить, что и здесь мы имеем дело с непрерывной эмиссией.

Итак, мы можем полагать, что струя, исходящая из звезды AE Возничего, является кометообразным включением в диффузную туманность IC 405.

14. Своеобразная форма кометообразных туманностей и кометооб-

разных включений в светлых диффузных туманностях требует специального объяснения. С первого взгляда кажется, что возможны два объяснения: а) форма туманности объясняется действительным распределением диффузного вещества вокруг звезды и б) вытянутая форма туманности объясняется направленностью того фактора, который вызывает непрерывную эмиссию.

Однако совершенно очевидно, что при наличии вращения звезд второе предположение должно привести к выводу, что направление «хвоста» должно с течением времени сильно меняться, чего не наблюдается. Поэтому мы должны заключить, что кометообразная туманность представляет собой реальное сгущение в пространстве, окружающем звезду.

Возможно также, что кометообразные туманности являются заметными сгущениями в тех темных или светлых туманностях, в которые они включены. Во всяком случае, из предыдущего ясно, что кометообразная туманность является некоторым уплотнением в той части большой туманности, которая непосредственно окружает связанную с ней звезду.

15. Не вызывает никаких сомнений, что кометообразные туманности не могут быть статическими образованиями. Трудно представить, чтобы силы, действующие в окрестностях звезды, приводили к длительному сохранению наблюдаемой формы. Поэтому или нужно считать, что такая туманность существует весьма короткое время, или допустить возможность сравнительно длительного стационарного течения вещества.

В обоих случаях возможны два представления: истечение материи из звезды и втекание вещества окружающей туманности в звезду. Произведенные Санфордом [13] измерения смещения линий в спектре Т Тельца на спектрограмме с большой дисперсией, снятой 9 января 1947 г., подтвердили вывод Джоя, сделанный на основе измерений спектрограммы от 20 сентября 1940 г., о том, что некоторые линии поглощения имеют компоненты, принадлежащие веществу, которое истекает из звезды со скоростью порядка 140 км/сек. Поэтому звезда должна быть окружена расширяющейся газовой оболочкой. С другой стороны, рассматривая гипотезу втекания, трудно понять, почему это втекание вещества туманности в звезду должно происходить только с одной стороны. Таким образом, можно полагать, что в данном случае мы имеем дело с истечением вещества из звезды. В силу сказанного и исходя из развитого нами представления об одновременном возникновении звездных групп и диффузных туманностей из протозвезд, можно нарисовать следующую картину развития Т-ассоциаций.

Перначальное тело — протозвезда — в какой-то момент делится на части, давая начало группе расходящихся звезд, которые нами наблюдаются как звезды типа Т Тельца. Одновременно часть вещества прото-

звезды превращается в диффузное вещество и образует диффузную туманность. Образовавшиеся звезды типа Т Тельца являются нестационарными объектами. В них происходят процессы выброса внутризвездного вещества (которое может быть идентично с дозвездным веществом), и в некоторых случаях истекающее вещество может дать начало кометообразной туманности.

16. Особый интерес представляет тот факт, что кометообразные туманности почти всегда связаны с переменными звездами. Однако возможно, что это правило имеет исключения. Не говорим здесь о тех случаях, когда нет данных о переменности или постоянстве блеска звезды или когда звезда настолько слаба, что она вовсе не наблюдается. Мы имеем в виду случаи, когда кометообразная туманность кажется связанной с более или менее изученной звездой постоянного блеска. В качестве примера можно привести туманность NGC 1515 в темном облаке Тельца. В этой маленькой яркой туманности находится звезда BD + 30°623 девятой величины, имеющая спектр типа А. Звезда, находящаяся в туманности, не обнаруживает заметных изменений яркости, а также ярких линий в спектре. Следует либо учитывать наличие подобных исключений, либо считать, что в данном случае звезда случайно проектируется на туманность, а настоящее ядро туманности является гораздо более слабой и потому не выходящей на снимках звездой.

Однако все же, несмотря на такие примеры, переменность звезд, связанных с кометообразными туманностями, является общим правилом. При этом из числа переменных низкой светимости, как правило, встречаются переменные типа Т Тельца, из числа переменных звезд средней светимости — звезды типа XX Змееносца, составляющие, по-видимому, продолжение класса звезд типа Т Тельца в верхней части главной последовательности. Наконц, с кометообразными туманностями связаны такие горячие переменные звезды, как γ Кассиопеи и АЕ Возничего. Кроме того, в случае FU Ориона мы имеем сверхгигант типа F, претерпевающий подъемы и спады блеска огромной амплитуды, причем только во время максимума можно говорить о принадлежности звезды к числу сверхгигантов. Таким образом, переменные звезды, связанные с кометообразными туманностями, охватывают всю главную последовательность, область горячих звезд и, по-видимому, область сверхгигантов. Это означает, что явление кометообразных туманностей играет более важную роль в эволюции звезд, чем кажется с первого взгляда.

Может оказаться, что продолжительность существования кометообразных туманностей очень мала по сравнению с длительностью той ранней стадии в жизни звезды, когда она является переменной. Это наиболее правдоподобное объяснение того, почему не все переменные звезды перечисленных выше категорий имеют кометообразные «хвосты».

Но возможно также, что только в тех случаях, когда возникшая звезда характеризуется определенными значениями параметров, около нее может возникнуть и удержаться длительное время кометообразная туманность таких размеров и яркостей, что мы можем ее наблюдать.

17. Все сказанное заставляет считать, что кометообразные туманности играют очень большую роль в процессе развития звезд и на изучение этих туманностей следует обратить особое внимание. Целью настоящей статьи и является привлечь внимание астрономов к этим объектам.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Вестн. АН СССР, № 12, 49, 1952.
2. O. Struve, P. Swings, PASP, **60** 61, 1948.
3. В. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюраканск. обс., вып. 13, 1954.
4. П. Н. Холопов, Переменные звезды, **8**, 83, 1951.
5. G. Haro, Ap. J., **117**, 73, 1953.
6. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **9**, 52, 1953.
7. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **10**, 20, 1953.
8. G. Haro, B. Iriarte, E. Chavira, Boletín de los observatorios Tonantzintla y Tacubaya, № 8, 3, 1954.
9. Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **10**, 207, 1953.
10. G. H. Herbig, Ap. J., **119**, 483, 1954.
11. J. Greenstein, L. Henyey, Ap. J., **89**, 653, 1939.
12. В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **10**, 213, 1953.
13. R. Sanford, PASP, **59**, 134, 1947.