

ЗВЕЗДЫ ТИПОВ Т ТЕЛЬЦА И UV КИТА И ЯВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭМИССИИ*

За последние годы наши знания о звездах типа Т Тельца и UV Кита значительно расширились благодаря накоплению большого количества фактических данных. В результате мы имеем возможность в настоящее время построить некоторые предположения, касающиеся причин нестационарности этих звезд, исходя из наблюдательных данных. Такой подход к решению вопроса резко отличается от того, который до сих пор применялся при попытках построения теории переменных звезд той или иной категории. Обычно до сих пор шли по пути построения моделей. Само собой разумеется, что мы не исключаем возможности решения проблемы на основе какой-либо теоретической модели.

Однако физические явления, наблюдаемые в звездах указанных типов, настолько необычны, что прежде всего необходимо составить представление о самой природе этих явлений и их взаимной связи. Только после этого может идти речь о подробной математической разработке какой-либо определенной модели.

Поэтому мы позволим себе сопоставить некоторые относящиеся к звездам указанных двух типов факты, которые кажутся нам существенными для выяснения природы их переменности.

Звезды типа Т Тельца интересны тем, что они встречаются группами, составляя ассоциации. Эти ассоциации были нами в свое время названы Т-ассоциациями. Это название впоследствии себя оправдало. Оказалось, что между Т-ассоциациями и обычными О-ассоциациями существует связь, выражающаяся прежде всего в том, что некоторые О-ассоциации содержат в своем объеме значительное число переменных типа Т Тельца и поэтому одновременно являются Т-ассоциациями. Очень большое количество звезд типа Т Тельца содержится, например, в ассоциации Ориона, о чем свидетельствуют работы Паренаго и Харо, в ас-

* К симпозиуму по нестационарным звездам. К IX съезду МАС, 5, М., 1955.

социациях Единорог I и Персей II, исследованных с этой точки зрения Хербигом.

Особенного внимания заслуживает присутствие звезд типа Т Тельца в ассоциации Персей II, которая, согласно Блаау, представляет собой расходящуюся группу горячих звезд. Поскольку молодость этой группы может считаться установленной, то естественно полагать, что и звезды типа Т Тельца являются молодыми объектами.

Мы не будем останавливаться здесь на других аргументах, свидетельствующих о молодости звезд типа Т Тельца. Упомянем лишь вкратце о возможном альтернативном представлении, согласно которому звезды типа Т Тельца являются обычными карликами, случайно попавшими в пылевое облако. Это представление возникло в связи с тем, что звезды типа Т Тельца действительно весьма часто встречаются в темных или светлых диффузных туманностях.

В работе Холопова было впервые показано, что в Т-ассоциации Тельца члены ассоциации расположены небольшими, сравнительно компактными группами, причем плотность некоторых из этих групп столь велика, что превосходит парциальную плотность карликов соответствующих светимостей в окружающем звездном поле. Этот факт противоречит представлению о случайно заходящих в туманность обычных карликах. Впоследствии Хербиг показал, что в ассоциации Единорог I мы наблюдаем еще более плотные группировки звезд типа Т Тельца. Таким образом, следует отказаться от гипотезы о случайно зашедших в туманность карликах и признать, что звезды типа Т Тельца, составляющие данную группу, имеют общее происхождение.

С другой стороны, поскольку большая часть звезд типа Т Тельца находится в диффузных туманностях, следует считать, что эти звезды успевают терять характеристики Т Тельца уже до того, как туманность рассеивается или они уходят из туманности. Принимая во внимание, что по современным представлениям диффузные туманности, как нестационарные образования, должны иметь возраст порядка 1—2 миллионов лет, мы должны заключить, что звезды типа Т Тельца не могут быть старше 1—2 миллионов лет. Поэтому наблюдаемые особенности звезд типа Т Тельца следует считать связанными с внутренними свойствами этих молодых объектов.

Известные нам представители звезд типа UV Кита находятся в ближайших окрестностях Солнца, так как вследствие низкой светимости нам трудно наблюдать их на больших расстояниях. Поэтому предположение о существовании связанной с ними туманности равносильно предположению о том, что Солнце находится внутри некоторой диффузной туманности. Если мы примем это предположение, то нужно будет допустить, что плотность этой туманности ничтожна или, во всяком случае,

настолько мала, что не оказывает никакого воздействия на спектральные особенности Солнца. Тем меньше должно быть это воздействие на быстро движущиеся через туманность слабые карлики типа М. Поэтому не может быть и речи о возникновении ярких линий в их спектрах, а в особенности вспышек в результате такого воздействия.

Таким образом, как в случае звезд типа Т Тельца, так и в случае звезд типа UV Кита, переменность звезд и сопровождающие ее спектральные особенности являются свойствами, связанными с внутренними закономерностями развития этих объектов.

Непрерывная эмиссия. Наиболее важной чертой, объединяющей рассматриваемые два класса переменных звезд, является непрерывная эмиссия. У звезды UV Кита непрерывная эмиссия наблюдается, согласно Джою, во время ее вспышек, а у звезд типа Т Тельца появляется на различных этапах изменения их блеска.

Более полутора лет назад, когда мы впервые пришли к выводу об общности причин, вызывающих непрерывную эмиссию в звездах Т Тельца и UV Кита, нам не были еще известны результаты Харо и его сотрудников, относящиеся к быстрым переменным в туманности Ориона и в других ассоциациях. Открытие мексиканскими учеными быстрых переменных в Т-ассоциациях перекинуло мост между звездами типа UV Кита и Т Тельца и показало, что как оба рассматриваемых класса переменных звезд, так и класс быстрых переменных являются разновидностями одного широкого семейства переменных карликов. При этом важнейшим свойством, объединяющим все это семейство, является появление время от времени непрерывной эмиссии. Вот почему физическое истолкование процессов, происходящих в атмосферах этих переменных, тесно связано с пониманием причин и сущности процесса непрерывной эмиссии.

Благодаря тому, что у различных звезд непрерывная эмиссия проявляется в разной форме, т. е. имеет различную продолжительность и различную интенсивность, оказывается возможным исключить целый ряд гипотез о природе непрерывной эмиссии и тем самым приблизиться к пониманию характера этого явления, основываясь на известных эмпирических данных.

Тот факт, что во время вспышек звезд типа UV Кита непрерывная эмиссия достигает большой интенсивности, заставляет считать, что само приращение яркости в этих случаях происходит главным образом за счет непрерывной эмиссии. Поэтому вопрос о причине увеличения блеска, по крайней мере иногда, совпадает с вопросом о причинах непрерывной эмиссии.

В случае, если увеличение блеска связано с тепловым излучением, то оно должно являться следствием либо повышения температуры, либо увеличения радиуса звезды.

Однако известны случаи, когда возрастание яркости происходило буквально за несколько секунд. Так, во время вспышки UV Кита 24 октября 1952 г. за семь секунд яркость звездной пары, куда входит UV Кита, возросла более чем на 1.6 звездной величины. Это значит, что светимость увеличилась более чем в четыре раза. Если увеличение светимости объяснить изменением площади, то это означало бы, что за семь секунд радиус звезды, по меньшей мере, удвоился. Для этого нужно было бы, чтобы поверхностные слои расширялись со скоростью 50 000 км/сек или больше, что совершенно исключается, поскольку одновременно наблюдаемые яркие линии не показывают сколько-нибудь значительного доплеровского смещения. Остается предположение, что непрерывная эмиссия связана со значительным повышением температуры внешних слоев. Нельзя отрицать возможность некоторого повышения температуры атмосферы звезды в результате появления непрерывной эмиссии. Но мы говорим здесь не об этом, а о возможности появления самой непрерывной эмиссии, как следствия повышения температуры внешних слоев.

Возможны при этом два случая: 1) Повышение температуры является следствием увеличения потока излучения, идущего из внутренних слоев. В этом случае должно иметь место повышение температуры не только в атмосфере, но и в более глубоких слоях. Но тогда уменьшение потока излучения будет возможно лишь после того, когда остынут эти более глубокие слои. По условиям переноса излучения во внешних слоях для этого потребуются, по крайней мере, часы. Между тем упомянутая выше вспышка звезды UV Кита 24 октября 1952 г. продолжалась, включая и нисходящую ветвь кривой блеска, всего две минуты. Поэтому мы должны отказаться от гипотезы о нагревании атмосферы в результате увеличения потока излучения, идущего из внутренних слоев. 2) Повышение температуры внешних слоев является следствием освобождения энергии в этих же слоях. При этом возможны два варианта: а) выделение тепла во внешних слоях происходит за счет энергии какого-либо механического движения, распространяющегося из внутренних слоев наружу, и б) оно происходит за счет каких-то других источников энергии. Если осуществляется вариант (а), то мы должны иметь нечто вроде взрывной волны, охватывающей всю звезду или некоторую область на ней. В этом случае явление всегда должно быть кратковременным, т. е. превращение энергии волны в тепло во внешних слоях, а следовательно, и выделение непрерывной эмиссии должно быть весьма непродолжительным. Однако особенность явления непрерывной эмиссии заключается как раз в том, что, будучи весьма кратковременным в случае вспышек звезд типа UV Кита, оно наблюдается годами у некоторых звезд типа Т Тельца, в частности у DD Тельца и BD + 67°922. Таким об-

разом, от варианта (а) следует отказаться, т. е. нужно предположить, что выделение непрерывной эмиссии происходит за счет других запасов энергии, освобождающихся в атмосфере звезды. Поскольку полная сумма тепловой и других видов энергии, находящихся в данный момент в тех наружных слоях атмосферы, где происходит выделение непрерывной эмиссии, очень мала, мы должны допустить, что источники энергии этого излучения выносятся из более глубоких слоев и только затем освобождаются во внешних слоях.

Этот вариант является, по-видимому, единственным, который прямо не противоречит наблюдениям. При этом совершенно естественно, что если в самых наружных слоях атмосферы происходит быстрое или длительное освобождение энергии каких-то, пока нам неизвестных источников, то в силу прозрачности этих слоев к непрерывному спектру выделяемая энергия может излучаться, не успев в большей своей части превратиться в тепло, т. е. не успев значительно повлиять на среднюю кинетическую энергию частиц соответствующих слоев атмосферы. Вот почему возникающее дополнительное излучение должно резко отличаться по своему характеру от теплового, т. е. должно быть *нетепловым излучением*.

Встает вопрос о том, каковы потенциальные источники энергии, которые переносятся из внутренних слоев во внешние и там дают начало непрерывной эмиссии. Принимая во внимание, что у некоторых звезд наблюдается в течение длительного времени непрерывная эмиссия того же порядка величины, что и все тепловое излучение звезды, естественно допустить, что эти потенциальные источники имеют ту же природу, что и внутренние источники звездной энергии, т. е. связаны с какими-то ядерными процессами. Трудно в настоящее время сказать что-нибудь вполне определенное об этих ядерных процессах. Вероятнее всего, что это процессы атомного распада, происходящие, однако, не с микроскопическими атомными ядрами обычного типа, а с ядерными образованиями макроскопических масштабов, т. е. с такими объектами, которые нам были до сих пор неизвестны.

В случае звезд типа Т Тельца картина изменений обычно более сложна, чем в случае звезд типа UV Кита. Наряду с меняющейся по своей интенсивности непрерывной эмиссией, мы наблюдаем здесь также изменения цветовой температуры, влекущие за собой изменения интенсивности получаемого нами температурного излучения. Кроме того, на указанные изменения двух родов накладываются также изменения интенсивностей эмиссионных линий.

Для объяснения этого сложного комплекса явлений следует допустить, как это было сделано в нашей работе, опубликованной в «Сообщениях Бюраканской обсерватории» № 13, что освобождение выносимых из

внутренних слоев источников энергии может происходить в различных слоях наружной оболочки звезды. Если энергия освобождается под фотосферическими слоями, то мы будем иметь дополнительный поток *теплового* излучения, проходящий через фотосферу, и менее резкие изменения яркости, а если она освобождается над фотосферными слоями, то мы должны иметь усиление непрерывной эмиссии и резкие изменения яркости. Интересно, что, по крайней мере, в некоторых случаях усиление непрерывной эмиссии у звезд типа Т Тельца происходит внезапно, хотя длительность максимума непрерывной эмиссии может быть велика. В промежуточном случае, когда освобождение энергии происходит в самых фотосферических слоях, мы должны иметь как возрастание температурного излучения, так и непрерывную эмиссию с накладывающимися на нее, однако, линиями поглощения. Очевидно, что в этом случае будет труднее отличить на практике непрерывную эмиссию от температурной. Наконец заметим, что, в зависимости от глубины явления, будет меняться также спектр ярких линий.

Я не буду останавливаться здесь подробно на связи явления непрерывной эмиссии со свечением кометообразных туманностей. Относящиеся к этому данные были сообщены в прошлом году на симпозиуме в Льеже. Мне хотелось бы лишь подчеркнуть то, что в некоторых случаях значительная часть свечения кометообразной туманности может быть объяснена отражением света переменной, в то время как в других случаях явление отражения света переменной не играет почти никакой роли, и свечение туманности следует приписать непрерывной эмиссии, происходящей в результате непосредственного освобождения энергии в самой туманности.

Мне кажется, что для более ясного понимания процессов, происходящих в звездах типа Т Тельца, крайне важно изучение тех случаев, когда те или иные стороны этих процессов выражены наиболее резко. Иными словами, имеет смысл обратиться к подробному изучению некоторых подтипов этого класса переменных звезд.

Я позволю себе остановиться на четырех разновидностях указанных объектов. При этом не преследуются цели классификации, а выделяются эти разновидности лишь для того, чтобы подчеркнуть необходимость детального изучения тех объектов, у которых отдельные стороны явления непрерывной эмиссии выражены особенно резко.

Первая разновидность. Это объекты типа Т Тельца, которые входят в Т-ассоциации и имеют длительную и особенно интенсивную непрерывную эмиссию. При этом, вследствие своеобразного распределения энергии непрерывной эмиссии по частотам, ультрафиолетовая часть спектра весьма интенсивна.

Наиболее характерными представителями этой разновидности яв-

ляются: звезда DD Тельца, изученная Струве и Свингсом, и звезда LH_α 61, обнаруженная Хербигом при исследовании ассоциации вокруг S Единорога.

Следует упомянуть, что у указанных звезд имеются еще две общие особенности. Первая из них — простираание бальмеровских эмиссионных линий до весьма высоких членов. Вторая особенность — связь с кометообразными туманностями, яркость которых намного выше той максимальной яркости, которая может быть в случае отражения света звезды.

Как указывает Харо, среди переменных звезд туманности Ориона также существует некоторое количество объектов голубого цвета. Нет сомнений, что при этом голубой цвет обусловлен распределением энергии в спектре непрерывной эмиссии. Обычно в этих случаях линия H_α, по его наблюдениям, имеет наиболее высокую оценку интенсивности. По-видимому, следует считать, что эти переменные по своим свойствам близки к DD Тельца и LH_α 61.

Сравнительная малочисленность звезд рассматриваемой разновидности и особенно интенсивное проявление у них явлений, характерных для звезд типа Т Тельца, свидетельствуют в пользу кратковременности переживаемого ими этапа развития. Вероятно, это наиболее ранняя стадия жизни звезд типа Т Тельца.

Вторая разновидность. Это объекты Хербига — Харо. Они представляют собой слабые звезды, окруженные газовыми туманностями очень малого диаметра. В спектрах этих туманностей содержатся запрещенные яркие линии, соответствующие невысокой степени ионизации. Абсолютная величина центральных звезд этих объектов — около +9^m, т. е. примерно совпадает с абсолютной величиной DD Тельца. Несмотря на свою низкую абсолютную величину, ядра этих объектов являются, по данным Харо, голубыми звездами. Естественно считать, что и в этом случае голубой цвет обусловлен не температурой, а непрерывной эмиссией. Интересно, что, несмотря на их необычайную редкость, три из этих объектов, находящихся в ассоциации Ориона, расположены в виде короткой цепочки длиной в 5' дуги. Это не может являться случайным совпадением и свидетельствует о крайней молодости этих объектов. Было бы весьма интересно найти подобные объекты в других ассоциациях.

Третья разновидность. Это быстрые переменные, открытые Харо и его сотрудниками в туманности Ориона и в Тельце. В отличие от звезд типа UV Кита, абсолютные величины этих быстрых переменных того же порядка, что и абсолютные величины других звезд типа Т Тельца. Поэтому эта разновидность занимает промежуточное положение между звездами типа UV Кита и обычными звездами типа Т Тельца, заполняя имеющуюся между ними брешь. Интересно, что у этих объектов эмиссия в спектральных линиях не интенсивна. Между тем у других объек-

тов непрерывная эмиссия сопровождается наличием ярких линий. Поэтому представляет чрезвычайный интерес выяснение вопроса о том, связано ли в этом случае повышение яркости с увеличением непрерывной эмиссии или обусловлено увеличением теплового излучения.

У объектов этой разновидности так же, как у звезд типа UV Кита, наиболее резко выражена быстрота процесса освобождения источников энергии. Не следует, однако, думать, что в других случаях, когда явление непрерывной эмиссии протекает длительно, сам процесс освобождения энергии из ее источников также обязательно длителен. Не исключена возможность, что между освобождением энергии из ее источников и превращением ее в световые кванты непрерывного спектра имеется еще одна стадия, длительность которой может быть различной в различных случаях.

Четвертая разновидность. Эта разновидность пока представлена единственным, но весьма интересным представителем—переменной звездой $BD + 67^{\circ}922$ в Драконе. Наряду с наличием интенсивности непрерывной эмиссии для этой звезды характерны следующие явления:

1. Весьма большая интенсивность эмиссионных линий водорода и особенно наличие весьма интенсивной линии ионизованного гелия $\lambda 4686$.

2. Принадлежность к сферической составляющей Галактики, о чем свидетельствуют как большая галактическая широта (41°), так и лучевая скорость (около -140 км/сек). Звезда имеет почти такую же галактическую долготу, как и апекс движения Солнца по отношению к быстролетящим звездам. Поэтому знак наблюдаемой лучевой скорости вполне объясняется. Интересно, что лучевая скорость $BD + 67^{\circ}922$ почти совпадает с лучевой скоростью находящейся рядом с ней быстролетящей долгопериодической переменной R Дракона, имеющей период 245 дней.

На этом примере выясняется, что в сферической составляющей нашей Галактики также имеются звезды типа Т Тельца, причем наиболее важным отличием данного объекта от обычных звезд типа Т Тельца, встречающихся в ассоциациях, является наличие линий высокого возбуждения He^{+} .

Как указывалось выше, физической причиной процессов, происходящих в звездах типа Т Тельца, следует считать освобождение значительных порций энергии во внешних слоях этих звезд и даже в наиболее наружных частях их атмосфер. Приходится допустить, что это освобождение энергии связано с ядерными процессами. Однако эти процессы по своему характеру резко отличаются от уже известных нам процессов освобождения ядерной энергии и особенно от термоядерных реакций.

Тот факт, что это освобождение происходит взрывоподобно, говорит о переносе из внутренних слоев во внешние слои масс вещества, которые находятся в ядернонеустойчивом состоянии. С другой стороны, поскольку эти явления наблюдаются у молодых звезд, естественно допустить, что выносимая масса состоит из дозвездного вещества высокой плотности, т. е. представляет собой материю в совершенно особом, нам до сих пор неизвестном состоянии.

Эта точка зрения вызывает, естественно, то возражение, что пытаются свести дело к доселе неизвестным нам физическим процессам, в то время как нельзя считать исчерпанными все возможности объяснения рассматриваемых явлений в рамках известных закономерностей физики.

Однако следует сказать, что ни при какой степени изученности какого-либо явления мы не можем быть гарантированы в том, что нами исчерпаны все возможности объяснения этого явления на основе известных законов физики. Несмотря на это, на каком-то этапе исследования приходится делать предположение о том, что исследуемое явление, которое не удалось объяснить на основе известных законов теоретической физики, является проявлением других неизвестных нам законов. Это предположение может оказаться неправильным или правильным, однако без введения подобных предположений для объяснения неожиданных результатов физических опытов и астрофизических наблюдений прогресс в области выявления принципиально новых, более глубоких свойств материи остановится. Весь вопрос в том, является ли положение дел с фактами, относящимися к звездам типа Т Тельца, таким, чтобы оправдать риск введения подобного предположения. Нам кажется, что если учесть не только факты, относящиеся к спектроскопии и фотометрии рассматриваемых звезд, но и те факты, которые связаны с ассоциированием их в группы молодых объектов, то получается весьма много аргументов, оправдывающих наше предположение.

Другие могут быть не согласны с этим и все еще пытаются найти решение задачи, исходя из ранее известных нам свойств материи. Нам же кажется, что этот путь уже следует оставить.

Более того, быстро растущие сведения о звездах типа Т Тельца позволяют перейти к выяснению закономерностей тех физических процессов нового типа, которыми обусловлены многие явления, происходящие в этих звездах.