

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՐ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ԲՅՈՒՐԱԿԱՆԻ ԱՍՏԴՆԱԴԻՏԱՐԱՆԻ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄՆԵՐ
СООБЩЕНИЯ БЮРАКАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

ԴՐԱԿ XIII ВЫПУСК

ЯВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭМИССИИ И ИСТОЧНИКИ
ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ

В. А. АМБАРЦУМЯН



570877 ПА-545

До настоящего времени наши представления о природе источников звездной энергии строились чисто умозрительным путем. Предполагалось всегда, что эти источники действуют только в достаточно глубоких, совершенно скрытых от непосредственного наблюдения слоях звезд. Поэтому естественно, что исследователи стали на путь построения различных «моделей» звезд, основанных на тех или иных предположениях о природе источников звездной энергии. К сожалению, нельзя констатировать, что этот путь привел к успеху. Принятая в настоящее время гипотеза о термоядерных реакциях, как источниках звездной энергии, не дала плодотворных результатов. Достаточно сказать, что для объяснения каждой точки на диаграмме спектр-светимость приходится подбирать значения двух параметров—массы и содержания водорода, без обоснования того, почему определенные пары значений этих величин встречаются в природе гораздо чаще, чем другие. Более того, приходится варьировать предположения о механическом состоянии внутренних слоев звезды. Если прибавим к этому, что основанная на этих представлениях теория не предсказала ни одного нового факта и поэтому пока не помогает наблюдениям, то становится ясным, что гигантский труд, потраченный на разработку и обсуждение множества различных мыслимых моделей, не дал ожидавшихся результатов.

Положение в этой области можно сравнить с состоянием вопроса о происхождении звезд в период до начала исследования звездных ассоциаций, когда выдвигались различные умозрительные гипотезы о конденсации звезд из межзвездной материи, об аккреции звездами межзвездного вещества—гипотезы, не основанные на результатах наблюдений [1].

Между тем нам кажется, что, подобно тому, как в области вопросов, касающихся происхождения звезд, анализ наблюдательных данных привел к интересным результатам, относя-

щимся к продолжающемуся в Галактике процессу звездообразования, так и в вопросе о природе источников звездной энергии можно надеяться, опираясь на наблюдения, разрешить многие важные вопросы.

Для этого нужно только правильно выбрать среди бесчисленных результатов современных астрофизических наблюдений те факты, где процессы выделения внутризвездной энергии проявляются наиболее непосредственным образом. Совершенно очевидно, что для этого прежде всего нужно обратиться к нестационарным звездам и, в частности, к тем из них, которые столь молоды, что могут считаться находящимися еще в процессе становления (например, звезды типа Т Тельца), а также к нестационарным процессам в тех звездах, которые в целом считаются стационарными (например, Солнце).

Настоящая статья не претендует на решение проблемы источников звездной энергии. Ее цель заключается в том, чтобы обратить внимание на некоторые факты, имеющие непосредственное отношение к процессам выделения внутризвездной энергии, анализ которых позволяет наметить новый путь разрешения этой проблемы.

§ 1. НЕПРЕРЫВНАЯ ЭМИССИЯ В СПЕКТРАХ НЕКОТОРЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД НИЗКОЙ СВЕТИМОСТИ

Некоторые классы переменных звезд низкой светимости характеризуются тем, что у значительного числа представителей этих классов время от времени появляется сильная эмиссия непрерывного спектра. Наиболее яркими примерами такого явления представляются изменения, наблюдаемые в спектре переменной карлика UV Кита и подобных ему звезд. Как показали впервые Джой и Хьюмассон [2], спектр этой звезды, в нормальное время соответствующий типу dM5e, во время вспышки, происшедшей 25 сентября 1948 года, был совершенно залит появившимся ярким непрерывным излучением. В результате, вследствие потери контраста, обычные линии поглощения были почти не видны. Вместе с тем, во время вспышки появились яркие линии испускания гелия и ионизованного гелия, а яркие линии водорода были усилены. По распределению

энергии появляющаяся во время вспышки непрерывная эмиссия отличается от обычного непрерывного спектра холодных карликов более голубым цветом.

Привлечение всех данных, относящихся к вспышкам звезд типа UV Кита, заставляет отвергнуть предположение о том, что рассматриваемая непрерывная эмиссия может иметь тепловое происхождение. В самом деле, если вспышка была бы связана с повышением температуры какой-либо части фотосферы звезды вследствие притока тепла изнутри, то невозможно было бы объяснить удивительную кратковременность этих вспышек. Достаточно сказать, что вспышка звезды UV Кита 24 октября 1952 г. продолжалась всего две минуты, причем только за промежуток в семь секунд яркость звездной пары, в которую входит UV Кита, возросла на 1.6 звездной величины, откуда можно только заключить, что блеск самой переменной возрос за эти семь секунд еще больше. В другом случае, 17 сентября 1952 г., блеск пары за 15 секунд возрос на 3.4 величины, а вся вспышка продолжалась четыре минуты [3]. Очевидно, что разогревание фотосферы в каком-либо месте, благодаря притоку тепла изнутри, должно было бы продолжаться гораздо больше и притом не могло бы столь сильно ослабить сразу все линии поглощения.

Единственно возможным выходом является предположение, что непрерывное излучение возникло в оптически тонком слое, в самых высоких слоях звезды, или даже может быть над обращаемым слоем звезды, так что об образовании линий поглощения на фоне этой непрерывной эмиссии не могло быть и речи. Вместе с тем, появление линий испускания во время вспышки заставляет считать, что скорее всего источник непрерывного испускания находился в верхних слоях хромосферы звезды.

Количество энергии, выделяемое в период вспышки звезд типа UV Кита в виде непрерывной эмиссии, настолько велико, что, как мы видели, иногда светимость звезды в фотографических лучах возрастает в десятки и даже во сто раз. Даже если учесть, что максимум излучения звезд типа M5 находится в инфракрасной части спектра, а также возможность того, что непрерывная эмиссия в инфракрасной области слаба, все же

окажется, что полное (болометрическое) излучение звезды возрастает во время вспышки по меньшей мере в несколько раз. Очевидно, что столь большие количества энергии не могут возникнуть в наружных слоях за счет перераспределения энергии внутри атмосферы. Поэтому приходится предполагать, что энергия непрерывной эмиссии, составляющая основную часть энергии вспышки, доставляется каким-то неизвестным образом (не путем теплопередачи или лучистого переноса) в самые наружные области атмосферы из внутренних слоев звезды. Приходится допустить, что энергия может доставляться из внутренних слоев наружу путем прямого выброса внутризвездного вещества, являющегося носителем внутризвездной энергии.

Непрерывная эмиссия, вуалирующая линии поглощения, характерна также для многих звезд типа Т Тельца, особенно вблизи максимумов яркости этих звезд. В последней своей статье Джой [4], резюмируя свои обширные исследования, посвященные переменным типа Т Тельца, указывает, что обычно во время максимумов блеска таких звезд появление и усиление линий излучения «...сопровождается непрерывным спектром значительной силы, наложенным на нормальный спектр с линиями поглощения, вуалирующим, таким образом, весь спектр более или менее полностью».

Приведем здесь несколько примеров того, как проявляет себя непрерывная эмиссия в звездах типа Т Тельца.

Пример 1. В спектре звезды UZ Тельца, относящейся к типу Т Тельца, линии поглощения обычно слабы вследствие наложения непрерывной эмиссии. Однако по временам, вследствие усиления непрерывной эмиссии, они совершенно исчезают, что имело место, например, согласно наблюдениям Джоя, 28 декабря 1942 года и 4 января 1944 года [5]. Согласно каталогу переменных звезд Кукаркина и Паренаго [6], блеск этой звезды меняется в пределах от 11.7 до 14.9. Получающаяся отсюда амплитуда в 3.3 величины нормальна для звезд типа Т Тельца. Однако Болин в 1921 году и Эш в 1924 году наблюдали максимумы блеска этой звезды ярче $9^m.5$. Таким образом, эта звезда обычно, согласно Хофлит, претерпевающая неправильные изменения блеска между $13^m.5$ и $14^m.5$, иногда ис-

пытывает довольно интенсивные вспышки. Итак, в этом случае мы имеем одновременно наличие сильных максимумов блеска и интенсивного непрерывного излучения.

Пример 2. В своем исследовании звезды RW Возничего, переменность которой была открыта, как известно, Л. П. Церасской [10] в Москве, Хербиг [11] приходит к выводу, что этот спектр получается в результате сложения двух составляющих: нормального спектра типа dG5 и непрерывного спектра «неизвестной природы».

Пример 3. В темном облаке Тельца, в небольшой светлой кометообразной туманности В 10, наблюдается звезда 15-й величины, спектр которой, судя по ее светимости, должен был бы соответствовать K5 или даже более поздним спектральным подразделениям. Однако, согласно Струве и Свингсу [12], ее спектр оказался совершенно непрерывным, без заметных линий поглощения. Последние совершенно завуалированы непрерывной эмиссией. Переменность этой звезды была установлена Химпелем. Холопов [8], исследовавший ее по московским снимкам, подтвердил переменность и отнес эту звезду к классу Т Тельца. Переменная получила название DD Тельца.

Струве и Свингс особенно подчеркивают интенсивность коротковолновой части непрерывного спектра этой звезды, откуда следует, что ее цвет близок к голубому. Этот факт является столь необычным, что невольно возникает предположение о том, что звезда представляет из себя белого карлика. Однако переменность звезды, а также наличие интенсивных ярких линий, характерных для звезд типа Т Тельца, заставляют сразу же отказаться от такого предположения. Помимо 14 интенсивных ярких водородных линий, в спектре рассматриваемой звезды наблюдаются и другие яркие линии. Кроме того, звезда DD Тельца имеет спутника, который также является звездой типа Т Тельца—явление, весьма характерное для звезд типа Т Тельца и исключаящее возможность допущения, что рассматриваемые объекты являются обычными звездами общего поля, вошедшими в диффузную туманность. Отсюда неизбежно следует вывод, что звезда DD Тельца обязана своим цветом наличию непрерывной эмиссии, т. е. что непрерывная эмиссия имеет в данном случае резко выраженный голубой цвет.

Пример 4. В 1935 году И. Н. Балановская [7] в Пулкове открыла в Тельце объект переменного блеска, оказавшийся затем двойной звездой [8], обе составляющие которой являются переменными типа Т Тельца. Эти переменные получили название ДН Тельца и ДІ Тельца. Звезда ДН Тельца имеет примерно такую же видимую величину, как DD Тельца. Звезда ДН Тельца весьма похожа на DD Тельца также в следующих отношениях:

а) она имеет спутника—звезду ДІ Тельца, также являющегося переменной типа Т Тельца,

б) в спектре звезды ДН Тельца бальмеровская серия интенсивна и простирается до H 14. По свидетельству Джоя [9], спектр звезды сильно завуалирован интенсивным непрерывным излучением, простирающимся далеко в ультрафиолетовую часть. Очевидно, что и в этом случае голубой цвет непрерывной эмиссии не вызывает сомнения. С другой стороны, интересно, что в спектре спутника линии поглощения были совершенно не завуалированы в момент наблюдения Джоя. Вместе с тем, водородные линии излучения были у спутника крайне слабы.

Пример 6. Переменные звезды туманности Ориона с яркими линиями имеют, как правило, в своем спектре завуалированные линии поглощения (Хербиг [13]). Однако вопрос о том, происходят ли наблюдаемые изменения яркости этих звезд исключительно за счет непрерывной эмиссии, еще не ясен. Как показал Паренаго [14], у звезды Т Ориона возрастание блеска сопровождается уменьшением показателя цвета. Это находится в соответствии с предположением о том, что в повышении блеска основную роль играет непрерывная эмиссия. Однако повышение температуры должно давать качественно тот же эффект. Поэтому вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Если в случае звезд типа UV Кита возрастание яркости можно приписать, в основном, непрерывной эмиссии, то в случае звезд типа Т Тельца картина уже не является такой четкой и простой. Не у всех звезд типа Т Тельца повышение яркости сопровождается параллельным усилением непрерывного испускания. У некоторых из них вуалирование линий поглощения вообще не отмечается, что, очевидно, указывает на сла-

бость непрерывной эмиссии. Это означает, что, в одних случаях частично, а в других случаях почти целиком, изменение яркости бывает обусловлено изменением температуры звезды. Точно также нет полного параллелизма между изменениями интенсивности ярких линий и непрерывной эмиссией. Так, например, одна из наиболее выделяющихся по интенсивности ярких спектральных линий звезда XZ Тельца, переменность которой была установлена П. Ф. Шайн [15] в 1928 году в Симеизе, не отличается большой интенсивностью непрерывной эмиссии. Интересно, что даже в минимуме яркости эта звезда имеет спектр, чрезвычайно богатый яркими линиями [5]. Во всяком случае, время от времени, в спектре видны линии поглощения и даже полосы окиси титана в поглощении.

Все сказанное заставляет сделать следующий вывод: изменения блеска звезд типа T Тельца связаны с выделением дополнительной энергии излучения в трех различных видах: а) температурное излучение, связанное с повышением температуры, б) энергия линий испускания и в) непрерывная эмиссия. Эти процессы в значительной мере сопровождают друг друга.

Совершенно естественно рассматривать все эти три способа выделения энергии как следствие одной и той же причины, проявляющейся, однако, в различных вариантах.

Так, если мы остановимся на предположении, высказанном в отношении звезд типа UV Кита, т. е. остановимся на допущении, что в этих явлениях играет роль выброс из внутренних слоев звезды некоторой части внутризвездного вещества, являющегося источником внутризвездной энергии, то можно допустить, что все три указанных выше варианта объясняются тем, что освобождение энергии, выброшенной массой, может происходить на различных уровнях в атмосфере звезды.

В тех случаях, когда освобождение энергии происходит во внешних слоях хромосферы или над этими слоями, мы имеем излучение непрерывной эмиссии, вуалирующей линии поглощения, механизм образования которой таков же, что и у звезд типа UV Кита.

В тех случаях, когда освобождение энергии происходит в нижних слоях хромосферы или в обрабатываемом слое, часть освобождаемой энергии выделяется в виде непрерывного излуче-

ния (на которую уже могут накладываться и линии поглощения), а часть идет на возбуждение ярких линий водорода и других атомов.

Когда рассматриваемая энергия выделяется во внешних слоях фотосферы, то мы имеем смесь температурного и нетемпературного излучения, причем последнее может вызывать также появление эмиссионных линий.

Наконец, когда рассматриваемая энергия выделяется в глубоких слоях фотосферы, то мы должны наблюдать, в основном, лишь возрастание температурного излучения, и спектральные изменения не должны носить столь бурного характера, как во всех предыдущих случаях.

Мы знаем, что не все звезды, показывающие изменение блеска типа Т Тельца (или RW Возничего), имеют в спектре яркие линии. Так, по Хербигу [16], только половина переменных звезд туманности Ориона имеет в спектре яркую линию H_α . И то время как в Т ассоциации около S Единорога 70% переменных показывают яркую линию H_α . Хотя эти данные нуждаются в уточнении (необходимом, как вследствие несовершенства спектральных данных для слабых звезд, так и вследствие возможного временного исчезновения линии H_α), мы можем, на основании развитого выше взгляда, сказать, что у многих звезд указанных двух ассоциаций выделение энергии происходит, по преимуществу, в глубоких фотосферических слоях, вследствие чего заметные линии излучения не возникают.

Заметим, что, если в случае звезд типа UV Кита выбрасываемое из недр звезды вещество, выделяющее энергию, высвечивается за очень короткий промежуток времени и обычно неспособно поддерживать увеличенную яркость на протяжении более чем получаса, в случае звезд типа Т Тельца мы должны предположить гораздо более длительный период высвечивания, т. е. возможность длительного излучения за счет выделенной дополнительной энергии. Благодаря этому волны в кривой яркости, соответствующие различным выбросам, весьма часто перекрываются, и мы имеем характерные для звезд типа Т Тельца неправильные изменения блеска. Поэтому можно представить себе, что у отдельных звезд типа Т Тельца (например, у DD Тельца) указанные выбросы происходят столь часто, со-

проводящая непрерывной эмиссией, что в их спектрах линии поглощения почти всегда завуалированы.

§ 2. КОМЕТООБРАЗНЫЕ ТУМАННОСТИ И ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЙ В НИХ

Насколько подробно изучены планетарные туманности, физической теории которых посвящены буквально сотни отдельных работ, настолько же мало исследованы объекты другого класса малых туманностей—кометообразные туманности. Между тем, если не считать оболочек, выбрасываемых новыми звездами, кометообразные туманности составляют единственный вид туманностей, многие представители которых являются переменными объектами.

Бросается в глаза, что большинство из известных нам переменных туманностей, если не все, связано со звездами типа Т Тельца или с родственными им объектами. В этом отношении классическим примером является туманность Хинда (NGC 1555) около самой Т Тельца. Открытая в 1852 году и бывшая в то время заметным объектом, она к 1861 году чрезвычайно ослабла и была едва различима лишь в крупнейшие телескопы. В 1868 году она совершенно исчезла. С 1890 года она снова наблюдалась, сначала в виде слабого объекта, а позже достигла заметной яркости. Туманность имеет непрерывный спектр; и кажется естественной гипотеза, что она является отражательной. Однако эта гипотеза не может быть принята, поскольку изменения яркости туманности и, в частности период ее исчезновения, не находятся ни в каком соответствии с изменениями блеска самой Т Тельца, от которой она находится в проекции на расстоянии примерно $40''$. Если пространственное расстояние не во много раз превышает расстояние в проекции, то свет звезды должен доходить до туманности за несколько месяцев, и поэтому туманность должна была бы с некоторой разностью фаз, порядка нескольких месяцев (в зависимости от ориентации), повторять изменения блеска звезды, что наверняка не наблюдается. Очевидно также, что здесь нельзя ничего объяснить реальными изменениями в самой туманности. В самом деле, для этого пришлось бы допустить пере-

мещение составляющих ее масс со скоростью порядка десятка тысяч километров в секунду и более. Еще труднее в таком случае понять восстановление туманности на прежнем месте, хотя и в несколько измененной форме. Очевидно, что и здесь нельзя ничего объяснить также тепловым излучением и что нужно придумать какой-то новый механизм возбуждения непрерывного излучения.

Как известно, профессор Киппер показал, что непрерывный спектр планетарных туманностей удолетворительно объясняется двухквантовым излучением водородных атомов, происходящим при переходе последних из метастабильного состояния $2S$ в основное состояние $1S$. Однако в данном случае нет условий для осуществления и этого механизма. Таким образом, свечение туманности Хинда следует приписать какому-то еще неизвестному механизму.

Приведем другой пример трудности при объяснении свечения кометообразных туманностей. Кометообразная туманность $B10$ связана с переменной звездой DD Тельца, об удивительных особенностях которой и, в частности, о наличии у нее интенсивной голубой непрерывной эмиссии говорилось выше. Физический характер связи между DD Тельца и туманностью $B10$ не может вызвать сомнения, так как звезды, находящиеся за $B10$, почти совершенно не видны из-за поглощения света в темном облаке Тельца, а вероятность случайного проектирования на $B10$ какой-нибудь звезды фона меньше 0.1 . Тем более мала вероятность случайного проектирования столь исключительной звезды на столь малую по размерам туманность $B10$. Согласно Струве и Свингсу [12], туманность имеет непрерывный спектр. Однако, проверяя, выполняется ли соотношение Хаббла, эти авторы установили, что для освещения туманности $B10$ на всем протяжении, на котором она светится, видимый блеск звезды DD Тельца должен был бы быть на 7 величин ярче наблюдаемого. Голубой цвет звезды исключает возможность предположения об очень сильном ослаблении ее света. Поэтому следует отказаться от гипотезы о простом отражении туманностью света звезды и принять, что в данном случае мы имеем дело с неизвестным механизмом непрерывной эмиссии.

Однако тот факт, что рассмотренные две кометообразные туманности связаны именно со звездами типа Т Тельца, свидетельствует о том, что в конечном счете причиной свечения в каждом случае все же является звезда. Таким образом, мы приходим к заключению, что многие звезды типа Т Тельца способны создавать условия для появления непрерывного свечения как в верхних слоях своих атмосфер, так и на значительном расстоянии от себя (до нескольких десятых парсека). При этом интенсивность фактора, вызывающего непрерывное свечение туманности, меняется неправильным образом, отлично от блеска самой звезды.

Приведем еще несколько примеров, подтверждающих высказанный выше взгляд на свечение кометообразных туманностей.

Кометообразная туманность NGC 6729 непосредственно связана со звездой R Южной Короны. Установлено, что и в этом случае нет определенной корреляции между изменениями блеска звезды и туманности, хотя расположение и форма туманности прямо говорят о воздействии звезды R Южной Короны, а возможно частично и соседней звезды T Южной Короны, находящейся на расстоянии примерно одной минуты дуги от R Южной Короны. Согласно Хабблу, спектр туманности NGC 6729 непрерывен. Стремясь проверить гипотезу об отражении света звезды, Уитней и Уэстон в 1946 году произвели снимки туманности NGC 6729 через полярионд [17]. Хотя результаты их измерений недостаточно точны и произведены всего в двух положениях полярионда, все же их анализ скорее говорит против радиальной поляризации, вытекающей из гипотезы отражения света, чем за нее.

Значительный интерес представляет открытая Харо [18] небольшая кометообразная туманность, включенная им в список пекулярных объектов, находящихся в районе туманности Орiona 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 вовсе не видна на синем снимке, почти не видна на красном и заметна лишь на инфракрасном, будучи все же слабее туманности. Гипо-

теза об отражении света приводит и в этом случае к предположению, что свет звезды претерпевает в голове туманности столь значительное покраснение, что звезда становится инфракрасной. Между тем в области туманности Ориона мы имеем известное число других инфракрасных объектов столь же слабого блеска. Поэтому более естественно предположить, что причиной свечения туманности в сплнх лучах является ее собственное непрерывное свечение, вызываемое неизвестным фактором, исходящим из звезды. Особенно интересно, что, по мнению Харо, отдаленная от звезды часть туманности (хвост) имеет эмиссионный спектр и невидима в инфракрасных лучах. Это является прямым указанием на то, что свечение туманности не может быть объяснено простым отражением. Очевидно мы имеем здесь дело с знакомым нам явлением одновременного возбуждения в различных объемах непрерывной эмиссии и линий излучения.

Итак, мы можем сделать вывод, что свечение кометообразных туманностей объясняется, по крайней мере в своей значительной части, как результат непосредственного освобождения в объеме туманности внутризвездной энергии, перенесенной путем какого-то выброса из внутренних слоев звезды в область туманности.

Следует отметить, что не во всех случаях следует отказываться от механизма отражения. При достаточно большой светимости звезды связанная с нею кометообразная туманность может быть достаточно освещена для того, чтобы в ее свечении отраженный свет играл значительную роль. Такой случай мы имеем, по видимому, в туманности NGC 2261, связанной с R Единорога. С одной стороны, изменения блеска туманности не следуют за изменениями яркости звезды. Во всяком случае, амплитуда изменения яркости звезды намного превосходит амплитуду изменения яркости туманности. Как показано было Гринштейном [19], цвет туманности не следует за изменениями цвета звезды. Вместе с тем, наличие в спектре туманности ярких линий, которые отсутствуют в спектре звезды, говорит о значительной роли отражения. Следует думать, что при повышении абсолютной яркости звезды роль отраженного света возрастает.

В пользу предложенного объяснения говорит также тот факт, что одна и та же звезда вызывает в разное время свечение различных объектов, расположенных в различных местах. Мы имеем здесь в виду произведенное Отто Струве в 1868 году в Пулковке открытие туманности NGC 1554, расположенной в трех минутах дуги от Т Тельца. Она наблюдалась до 1877 года, т. е. как раз в тот период, когда туманность Хинда была невидима. С тех пор она не наблюдалась и не видна даже на лучших современных photographиях. Появление и исчезновение туманности Струве нельзя никак объяснить исходя из гипотезы отражения.

Во всех случаях переменности кометообразных туманностей, связанных со звездами типа Т Тельца, наблюдается та особенность, что изменения в туманности требуют гораздо более длительных промежутков времени (большей частью требуются годы), чем промежутки, в течение которых меняется блеск самих звезд типа Т Тельца. Это свидетельствует о том, что в случае кометообразных туманностей освобожденная порция энергии расходуется в виде излучения за гораздо более длительный срок, чем в звездных атмосферах.

Как только что упомянутый факт последовательного возбуждения свечения двух туманностей, расположенных различным образом по отношению к Т Тельца, так и сама форма большей части кометообразных туманностей говорят о том, что фактор, вызывающий свечение, в данном случае может иметь направленное действие. Направленность в данном случае может объясняться, с одной стороны, направлением выброса внутризвездного вещества и, с другой стороны, распределением материи вокруг звезды.

В заключение настоящего параграфа упомянем еще несколько звезд типа Т Тельца, связанных с кометообразными туманностями. Это ВМ Андромеды, RY Тельца, DG Тельца и НК Ориона. Последняя по характеру спектра звезды и по изменениям блеска может быть также отнесена к типу XX Змееносца. Однако, как правильно указывает Холопов [8], между звездами типа Т Тельца и XX Змееносца нет резкой границы, поэтому они могут быть объединены в один класс.

Значительное число звезд типа Т Тельца встречается в раз-

личных светлых диффузных туманностях (туманность Ориона, NGC 2264, NGC 7023 и других), образуя в них богатые Т ассоциации. Собственно говоря, и переменные, находящиеся в Тельце, в том числе и такие, как DD Тельца, Т Тельца, DG Тельца, RY Тельца, которые связаны с кометообразными туманностями, входят в большую, но темную диффузную туманность Тельца, образуя одну большую ассоциацию, состоящую из нескольких групп, подробно исследованных Холоповым. Возникает вопрос, нет ли и в светлых диффузных туманностях, содержащих в себе большие группы звезд типа Т Тельца, таких, которые вместе с ними содержат в себе также небольшие кометообразные туманности. Совершенно естественно, что обнаружение подобных кометообразных включений в случае светлых туманностей должно быть гораздо более трудным делом, чем в случае темных туманностей. Однако обзор имеющихся на этот счет наблюдательных данных показывает, что задача эта не является совершенно безнадежной.

§ 3. КОМЕТООБРАЗНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СВЕТЛЫХ ДИФFUЗНЫХ ТУМАННОСТЯХ

1. 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 Гринштейн и Хеней [20] констатировали наличие заметного непрерывного спектра. Последнее обстоятельство подтверждается Гурздяном на основании снимка, полученного с помощью небулярного спектрографа Бюраканской Обсерватории. Фотографии туманности IC 405 можно найти в атласах Крымской [21] и Алма-Атинской [22] обсерваторий. Как показала в своей работе В. Ф. Газе [23], вид и строение туманности на снимке в лучах H α необычайно резко отличается от ее вида и строения на снимке в фотографических лучах. Правда, различие между снимками в H α и в фотографических лучах наблюдается у диффузных туманностей весьма часто. Однако обычно оно сводится к тому, что на периферии,

газовой туманности в лучах H_α являются более слабые части. В отдельных случаях, наоборот (например, в случае трехраздельной туманности), у газовой туманности имеется продолжение в виде пылевой туманности, дающей непрерывный спектр и видимой только в фотографических лучах. В данном же случае разница заключается в том, что в фотографических лучах от звезды АЕ Возничего тянется яркая и довольно резко ограниченная струя, изогнутая дугой, между тем как на водородном снимке эта наиболее выдающаяся деталь туманности совершенно не видна. Предполагать, что свечение струи может вызываться, в основном, излучением других ярких линий, встречающихся в спектрах диффузных туманностей, также, повидимому, нет основания. В самом деле, речь может идти здесь лишь о дублете λ 3727 [OII]. Но особенно сильное свечение этой линии в той части струи, которая близка к звезде АЕ Возничего, трудно предполагать, так как в этой части кислород должен быть почти целиком ионизован вторично. Поэтому более естественно полагать, что спектр струи в значительной степени непрерывный, подобно спектрам кометообразных туманностей. Сходство рассматриваемой струи с кометообразными туманностями состоит при этом не только в том, что струя как бы вытекает из звезды, но и в том, что сама звезда является переменной.

С другой стороны, мы не знаем случаев, чтобы звезда типа О9 освещала в непосредственном соседстве с собою пылевую туманность. Остается предположить, что здесь мы имеем дело опять с непрерывной эмиссией.

II. IC 410. Туманность IC 410 содержит в себе скопление NGC 1893. В это скопление входят, согласно Шарплессу [24], 5 звезд типа О, несколько звезд типа В₀ и другие более слабые звезды. В частности, в это скопление входит система типа трапеции BD+33°1026 и другие кратные системы. Туманность IC 410 имеет диаметр, превосходящий полпрадуса. 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 бросающиеся в глаза образования, которые



представляют собой кометообразные туманности. В списке Шайна и Газе [25] они обозначены номерами S 129 и S 130. Туманность S 129 имеет длину порядка пяти минут, а S 130 — порядка семи минут. Особенно хорошо видны эти туманности на снимке 13d второй части атласа Фесенкова и Рожковского. В районе головы туманности S 129 находится пять слабых звезд. Из них наиболее яркая, судя по определению Куффеля [26], имеет фотографическую яркость $4^m.8$, а в районе головы туманности S 130 имеется 4 звезды, из которых наиболее яркая достигает фотографической величины 13.4. Не может быть и речи, чтобы указанные звезды могли освещать связанные с ними кометообразные туманности. В обоих этих случаях соотношение Хайбла будет нарушено почти в такой же степени, что и в случае звезды DD Тельца, связанной с кометообразной туманностью B10. Поэтому возможно, что и в этом случае действует механизм непрерывной эмиссии, обсуждавшийся выше.

III. Туманность Ориона. Помимо объекта 13а, обнаруженного Харо, о котором мы говорили в предыдущем параграфе и который, несомненно, входит в ассоциацию Ориона, хотя и находится довольно далеко от Трапеции, имеются данные еще о четырех объектах, находящихся уже сравнительно близко к Трапеции. Это небольшие туманности, обнаруженные Харо [18] 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, в силу своей низкой светимости, не могут их освещать. В других двух объектах 5а и 6а вовсе не обнаружены звезды.

Несмотря на это и несмотря на близость Трапеции, эти объекты излучают непрерывный спектр. Если бы их непрерывное излучение вызывалось прямым освещением со стороны Трапеции или со стороны 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 их свечение как следствие непрерывной эмиссии, считая, что в случае объектов 5а и 6а звезды, обуславливающие появление непрерывной эмиссии, настолько слабы, что не получают на снимках.

IV. Туманность NGC 7023. Как показал Уэстон [27], эта туманность содержит в себе большое количество звезд типа Т Тельца. С другой стороны, принято считать, что она освещается находящейся в ее центре звездой типа В5. Как указывают Шайн и Газе [25], «туманность... частично водородная». Это означает, что наряду с непрерывным спектром часть энергии излучается в линиях водорода и, вероятно, других элементов. Если непрерывный спектр целиком происходит от отражения света центральной звезды, мы должны были бы наблюдать радиальную поляризацию, однако, как показал Уэстон [28], картина поляризации в рассматриваемой туманности весьма сложна, и результаты его наблюдений не могут быть объяснены простым отражением света.

Согласно Глизе и Вальтеру [29], в туманности наблюдается в первом приближении радиальная поляризация, как этого требует гипотеза об отражении света центральной звезды. Однако это только первое приближение. Реальная картина распределения поляризации гораздо сложнее.

Таким образом, и в этом случае можно подозревать наличие отдельных включений, дающих непрерывное свечение иной природы.

Из всего сказанного следует, что строение многих диффузных туманностей, особенно связанных с Т и О ассоциациями, гораздо сложнее, чем это казалось до сих пор, и наряду с исследованием их в лучах H_α нужно обратить серьезное внимание на изучение их строения в непрерывном спектре.

§ 4. ОБЪЕКТЫ ХЕРБИГА--ХАРО

Как известно, помимо того, что звезда Т Тельца имеет около себя кометообразную туманность Хинда, она непосредственно окружена туманной оболочкой небольшого объема, имеющей спектр, состоящий из ярких линий [30]. Интересно, что этот спектр свидетельствует о слабой степени ионизации в туманности. Так, вместо линий [OIII], которые вовсе не наблюдаются, мы встречаем здесь весьма интенсивный дублет λ 3727 [OII]. Значительную интенсивность имеют также линии [SII]. Такое поведение спектра нам кажется понятным. Излучение звезды и

даже добавленная к ней непрерывная эмиссия не могут вызвать высокой ионизации в туманности. Поэтому возбуждаются преимущественно линии нейтральных и однажды ионизованных атомов. Однако, самый факт существования туманной оболочки представляет большой интерес и, повидимому, тесно связан с молодостью звезды Т Тельца. Если это так, то естественно ожидать, что наиболее молодые образования в Т ассоциациях могут быть связаны с подобными же туманными оболочками. Интересно, что Хербиг [31] открыл и изучил недалеко от диффузной туманности NGC 1999 три весьма слабых туманных объекта, расположенных примерно на одной прямой линии. В дальнейшем эти объекты были изучены Харо [32]. Оказалось, что каждый из них представляет собой звезду примерно 18-й величины, окруженную небольшой туманностью. При этом туманность представляется довольно яркой по сравнению со звездой, а спектр туманности весьма напоминает спектр газовой оболочки вокруг Т Тельца: Как установил Харо, звезды в этих объектах имеют голубой цвет, подобно переменной звезде DD Тельца, являющейся одной из весьма слабых звезд в ассоциации Тельца, также особенно резко проявляющей свойства, которые можно считать связанными с молодостью звезд этого класса. Интересно, что и по абсолютной величине эти объекты очень близки к звезде DD Тельца.

Крайняя редкость объектов Хербига—Харо, даже в ассоциации Ориона, где много звезд типа Т Тельца, расположение трех объектов в виде цепочки длиной всего около 5 минут дуги, т. е. около полпарсека, низкая абсолютная яркость, а также другие совершенно особые свойства заставляют считать эти объекты (и сходные с ними несколько других объектов в ассоциации Ориона) крайне ранними стадиями развития вновь возникающих звезд—объектов типа Т Тельца.

§ 5. НЕПРАВИЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ, ПРИМЫКАЮЩИЕ К ТИПУ Т ТЕЛЬЦА

Среди неправильных переменных других классов наибольшее сходство со звездами типа Т Тельца показывают звезды типа XX Змееносца. Как указывалось выше, Холопов считает, что

оба эти типа можно объединить в один класс. В пользу объединения говорят следующие факты:

1. Кривые блеска у звезд типа XX Змееносца очень сходны с кривыми блеска звезд типа Т Тельца.

2. Звезда НК Ориона, которая по спектру (A4ep) была отнесена ранее к звездам типа XX Змееносца, оказалась членом группы звезд типа Т Тельца, той группы, в которую входит СО Ориона [8]. Как упоминалось выше, около нее имеется яркая кометообразная туманность. Все это дало основание отнести ее в то же самое время к звездам типа Т Тельца.

3. Одна из звезд типа XX Змееносца, обладающая малой амплитудой блеска, X Персея, входит [33] в ассоциацию Персей II и уже поэтому родственна звездам типа Т Тельца, большее число которых, согласно Хербигу [34], наблюдается в этой ассоциации.

4. Звезда ХУ Персея, относимая обычно к типу XX Змееносца, находится на краю большого темного облака и, возможно, тоже связана с ассоциацией Персей II. Кривая ее блеска также напоминает кривые блеска звезд типа Т Тельца.

Наблюдаемая у некоторых звезд рассматриваемого типа связь с кометообразными и темными туманностями заставляет считать, что в этих звездах физические процессы должны подходить к процессам в звездах типа Т Тельца. Разница заключается лишь в том, что это звезды типов В и А и имеют более высокую светимость. Можно сказать, что эти звезды составляют продолжение класса переменных типа Т Тельца в сторону ранних спектральных типов. По существу дальнейшим продолжением этой последовательности является звезда АЕ Возничего, связанная с туманностью IC 405 и имеющая спектр O9, о которой говорилось выше.

Вместе с тем, следует отметить, что имеется сходство между звездами типа XX Змееносца и звездами типа R Северной Короны.

Прежде всего, кривая блеска самой XX Змееносца характеризуется приблизительным постоянством в максимуме и, таким образом, имеется сходство кривых блеска звезд типа XX Змееносца с кривыми блеска звезд типа R Северной Короны.

Если возьмем далее такую звезду типа R Северной Короны,

как BN Ориона, она в отношении кривой яркости очень мало отличается от XY Персея. Поэтому нельзя сомневаться в том, что физические процессы в звездах типа R Северной Короны должны иметь много общих черт с физическими процессами в звездах типа XX Змееносца и T Тельца. Разница же заключается в более длительных остановках изменения яркости в максимуме, с одной стороны, и в том, что звезды типа R Северной Короны, по крайней мере иногда, являются сверхгигантами.

Сама R Северной Короны относится к типу cF и в максимуме действительно имеет весьма высокую светимость.

Весьма существенным обстоятельством, характеризующим звезды типа R Северной Короны, является то, что во время минимума при падении блеска на несколько величин цвет ее, по имеющимся данным, остается постоянным. Если исключить гипотезу о переменном нейтральном поглощении света звезды темной материей, то такое явление невольно заставляет делать вывод, что основная доля излучения звезды не носит теплового характера. К сожалению, явление слишком мало изучено для того, чтобы делать дальнейшие выводы, однако ясно что вопрос о закономерностях излучения непрерывного спектра звезд типа R Северной Короны и о наличии непрерывной эмиссии в их спектрах заслуживает серьезного внимания.

Говоря о звездах, которые могут оказаться сходными со звездами типа T Тельца в отношении явления непрерывной эмиссии, мы не можем не остановиться на звезде FU Ориона, занимающей совершенно особое положение среди всех переменных звезд. Поскольку до 1937 года эта звезда была не ярче 16-й величины, а в 1937 году, вспыхнув, достигла максимума 9-й величины, то ее относят часто к числу новых звезд. Однако вслед за подъемом яркости не произошло сколько-нибудь сильного падения блеска. Вместо этого мы имеем продолжающийся много лет максимум блеска. Звезда принадлежит в максимуме к типу cF5, поэтому ее с таким же правом можно считать звездой типа R Северной Короны с весьма продолжительным минимумом, имевшим место до 1937 года. Если стать на эту точку зрения, то становится интересным тот факт, что после вспышки около звезды наблюдалась кометообразная ту-

манность. Поэтому можно ожидать, что и у этой звезды в какой-то степени могут наблюдаться явления, имеющие место в атмосферах звезд типа Т Тельца.

§ 6. ГИПОТЕЗА О РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНАХ

Как известно, непрерывное свечение в оптической части спектра испускается также Крабовидной туманностью. Для объяснения непрерывного спектра Крабовидной туманности Шкловский [35] предположил, что в этой туманности имеются иррегулярные магнитные поля, в которых движутся релятивистские электроны с энергиями, достигающими до 10^{11} эв и выше. Предполагается при этом, что электроны получили столь большие энергии в результате многократных рассеяний на магнитных полях в период вспышки, приведшей к образованию Крабовидной туманности. Хотя пока трудно утверждать, что непрерывное излучение Крабовидной туманности имеет ту же природу, что и непрерывная эмиссия, рассмотренная в настоящей статье, все же очевидно, что перед астрофизиками стоит широкая задача объяснения непрерывной эмиссии, возникающей в самых разнообразных условиях. Поэтому встают вопросы: 1) не может ли излучение релятивистских электронов в магнитных полях (т. е. явление «светящихся электронов») быть общей причиной непрерывной эмиссии во всех случаях, рассмотренных в настоящей статье*, и 2) не получают ли релятивистские электроны свою энергию на основе действия механизма Ферми, т. е. в результате рассеяния на иррегулярных магнитных полях.

Что касается до второго вопроса, то нам кажется, что на него можно сразу дать отрицательный ответ. В самом деле, в некоторых случаях (звезды типа UV Кита) появление непрерывной эмиссии носит взрывоподобный характер, между тем как при механизме Ферми появление электронов с высокой

* Во время конференции по перемещенным звездам в Ленинграде (май 1954), где докладывались настоящие работы, я узнал, что И. М. Гордон публикует статью, в которой предполагается, что именно релятивистские электроны ответственны за непрерывную эмиссию у звезд типа Т Тельца.

энергией должно происходить постепенно, а при медленном характере изменений статистических характеристик иррегулярного магнитного поля может даже установиться равновесие между приобретением и испусканием энергии электронами.

Что касается первого вопроса, то в настоящее время еще трудно ответить на него утвердительно, так как о существовании магнитных полей в атмосферах нестационарных звезд и, особенно, о значениях напряжений этих полей и об их структуре можно делать лишь необоснованные гипотезы*.

Поэтому в настоящей работе мы отказываемся от введения гипотезы о релятивистских электронах для рассматриваемых типов нестационарных звезд.

Для рассматриваемых явлений наиболее существенным является то, что мы имеем дело со столь большими количествами энергии, которые вряд ли могут освободиться при процессах энергообмена, ограничивающихся самой атмосферой. Следовательно, неизбежным является вывод о том, что при этих процессах происходит непосредственный вынос внутризвездной энергии в наружные слои посредством какого-то носителя этой энергии. При взаимодействии с веществом внешних слоев или спонтанно происходит выделение этой энергии во внешних слоях, причем посредством какого-то механизма эта энергия превращается либо в тепловое излучение фотосферических слоев, либо в энергию возбуждения и ионизации атомов, либо же, наконец, в энергию непрерывной эмиссии.

Существенна следующая сторона этого явления: после выноса внутризвездной энергии наружу ее освобождение начинается сразу, взрывоподобно, а не нарастает постепенно. Однако самый процесс излучения в оптической части спектра может длиться долго, иногда много дней. Поэтому представляется вероятной следующая картина: энергия внутризвездной природы выделяется своим носителем за очень короткий про-

* Разработка гипотезы о релятивистских электронах должна свестись к подгонке значений магнитных полей, значений средней энергии электронов и плотностей среды, для того, чтобы удовлетворить наблюдаемым срокам высвечивания и частотам излучения. Между тем на данном этапе наших знаний основное значение имеют анализ и обобщение фактических данных, касающихся непрерывной эмиссии.

межуток времени, но превращается в другой промежуточный вид энергии, откуда уже переходит в течение длительного времени (от нескольких минут до многих дней) в видимое излучение. Если бы внутризвездная энергия освобождалась своим носителем не мгновенно, то мы имели бы постепенное нарастание вспышек, поскольку требовалось бы время для накопления энергии в промежуточном состоянии.

Такое быстрое превращение внутризвездной энергии, вынесенной в наружные слои, в другие виды заставляет считать, что мы имеем здесь дело с процессами типа ядерного распада и при этом с очень небольшой продолжительностью жизни.

О том, что такие процессы происходят и притом не только в нестационарных звездах, но и в таких звездах, как наше Солнце, говорят некоторые факты, которые мы перечислим в следующем параграфе.

§ 7. О ПРОЦЕССАХ РАСПАДА ВО ВНЕШНИХ СЛОЯХ ЗВЕЗД

В настоящее время имеются прямые доказательства того, что во внешних слоях многих звезд происходят процессы распада, влияющие на химический и изотопный состав звездных атмосфер. В этом отношении наибольшее значение имеет открытие Меррилом [36] интенсивных линий технеция в спектрах большинства наблюдавшихся им звезд типа S. Вследствие неустойчивости своих ядер технеций должен был бы исчезнуть из атмосферы за промежуток времени порядка несколько сотен тысяч лет. Следовательно, он продолжает возникать в атмосферах звезд типа S. Как показывает изучение этого вопроса, для образования технеция из других элементов, например, из элементов группы железа или из молибдена, требуются исключительные условия, которые не осуществляются во внешних слоях звезды. Эти условия неправдоподобны также и для центральных областей звезды. Более того, конвекция из центральных областей в наружные может потребовать гораздо больше времени, чем продолжительность жизни технеция. Естественно поэтому считать, что элемент технеций возникает непосредственно в атмосферах звезд или в слоях, находящихся непо-

средственно под атмосферой. в результате процессов распада внутризвездного вещества, о которых говорилось выше. В пользу этого говорит также тот факт, что обилие технеция в звездах типа S, согласно Меррилу, коррелируется с обилием циркония. Так как обилие циркония следует считать фундаментальной особенностью звезд типа S, также связанной с процессом возникновения элементов в этой звезде, то естественно думать, что возникновение технеция лишь сопровождает процесс возникновения атомов циркония. Заметим, что, согласно Нассау (доклад на открытии Пулковской обсерватории в 1954 г.), гиганты типа S образуют в Галактике группы, подобные ассоциациям. Поэтому они должны быть молодыми звездами. Если образование звезд из протозвезды сопровождается постепенным превращением дозвездного вещества в обычное вещество в результате процессов типа распада, то наличие технеция и большое обилие циркония в звездах типа S должны служить одним из указаний на то, каким путем идет формирование элементов. Довольно серьезные данные, полученные Хюбнером, Де-Ягером и Цвааном [37], свидетельствуют о наличии небольшого количества технеция и на Солнце. Поэтому возникает предположение о возможности возникновения элементов и на Солнце в результате распада первичного вещества. Ряд фактов убедительно свидетельствует в пользу этого предположения. К ним относятся:

- 1) наличие в солнечной атмосфере лития;
- 2) данные, говорящие в пользу наличия в атмосфере Солнца дейтерия, приведенные Де-Ягером [38];
- 3) большое изобилие на Солнце бериллия.

Недавно новые доказательства в пользу существования на Солнце дейтерия были получены Северным [39] в Крымской обсерватории.

Как известно, до сих пор считалось, что эти факты можно объяснить, вводя искусственные предположения об отсутствии перемешивания между наружными и внутренними слоями Солнца. Однако гипотеза о продолжающихся процессах типа атомного распада, делая совершенно естественным существование этих элементов в солнечной атмосфере, может объяснить и наличие технеция, которое непонятно с точки зрения гипотезы об отсутствии перемешивания.

Следует отметить, что и на Солнце, правда в небольшом масштабе по сравнению с рассмотренными выше нестационарными звездами, происходит явление чрезвычайно быстрого выделения значительных количеств энергии, которое трудно объяснить процессами энергообмена в пределах самой атмосферы. Мы имеем в виду хромосферные вспышки, обычно сопровождаемые интенсивными радиовсплесками. Очень короткая продолжительность промежутка от начала возникновения хромосферной эрупции до максимума ее интенсивности так же, как аналогичный факт, наблюдаемый в отношении радиовсплесков, говорит о взрывоподобном характере развития этого процесса.

Необычайно высокая интенсивность радиоизлучения при этих всплесках приводит, в случае предположения о тепловой природе радиоизлучения во время этих всплесков, к фантастически высоким температурам. Поэтому естественным образом возникло предположение о нетепловом механизме возникновения этого излучения.

Указанные факты дали основание для введения Гусейновым [40] и Гордоном [41] гипотезы о релятивистских электронах в локальных солнечных магнитных полях, производящих радиовсплески и хромосферные вспышки. При этом излучение выделяется как путем образования линий испускания, так и в непрерывном спектре радиочастот, а иногда и оптических частот. Поэтому картина в известной мере похожа на явления, происходящие в звездах типа UV Кита и Т Тельца. Небольшой масштаб этих явлений на Солнце свидетельствует о том, что в звездах, имеющих большой возраст, процессы выноса внутризвездной энергии во внешние слои происходят весьма неинтенсивно, и подавляющая часть освобождающейся в такой звезде внутризвездной энергии выделяется во внутренних слоях.

§ 8. ДИСКРЕТНЫЙ ХАРАКТЕР ПРОЦЕССОВ ВЫНОСА И ОСВОБОЖДЕНИЯ ВНУТРИЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ

Выше мы постарались показать, что во многих нестационарных звездах мы имеем дело с явлением непосредственного освобождения внутризвездной энергии во внешних слоях звезд, что, повидимому, оказывается следствием выноса во внешние слои вещества, являющегося носителем этой энергии.

В связи с этим встает вопрос — какие особенности характерны для этих процессов. Совершенно очевидно, что вопрос этот требует длительного, специального изучения. Однако, в предварительной и пока еще в очень общей форме, мы можем из всего изложенного и на основании ряда других наблюдательных данных сделать некоторые приблизительные, пока очень общие, заключения об этих особенностях:

1. Освобождение внутризвездной энергии во внешних слоях носит дискретный характер и происходит большими порциями.

2. Процесс освобождения межзвездной энергии носит, практически, мгновенный характер. В пользу этого говорит быстрое развитие вспышек в тех случаях, когда мы наблюдаем их в наиболее чистом виде (звезды типа UV Кита). Тот факт, что излучение энергии в видимой части спектра происходит не мгновенно, а продолжается некоторое время (минуты в случае звезд типа UV Кита, сутки в случае атмосфер звезд типа Т Тельца и годы в случае кометообразных туманностей), не противоречит этому. В самом деле, прежде чем превратиться в лучистую энергию, излучаемую в мировое пространство, освобождающаяся внутризвездная энергия должна пройти через какие-то промежуточные или переходные состояния. Наличие этих переходных состояний может вызвать длительность процесса излучения.

3. Освобождение внутризвездной энергии сопровождается процессами возникновения новых атомных ядер, в том числе и таких, которые являются неустойчивыми либо сами по себе, либо же в звездных условиях.

4. Величина дискретных порций освобождаемой энергии меняется от звезды к звезде, а для данной звезды от одного акта выделения энергии к другому. Так, у звезд типа UV Кита количество выделяемой каждый раз энергии порядка 10^{33} — 10^{34} эрга, в случае звезд типа Т Тельца порядка 10^{39} эрга. Вместе с тем, при хромосферных вспышках на Солнце освобождаются гораздо меньшие количества энергии.

Встает вопрос, характерны ли указанные особенности только для тех процессов освобождения энергии, которые происходят в самых внешних слоях звезд. Тот факт, что мы наблюдаем последствия дискретных и почти мгновенных процессов выде-

ления энергии во внутренних слоях звезд в виде вспышек новых и сверхновых, говорит в пользу того, что дискретная природа процессов освобождения энергии распространяется, по крайней мере иногда, на те случаи, когда это освобождение происходит во внутренних слоях. Само собой разумеется, что нельзя отрицать возможности непрерывных процессов освобождения энергии наряду с дискретными как во внешних, так и во внутренних слоях звезд, однако мы не имеем пока никаких фактов, говорящих в пользу этого.

Не вникая в самый механизм освобождения энергии и только считая, что мы в данном случае имеем дело с процессами типа распада, мы можем все же поставить вопрос о том, как происходит процесс выноса того вещества, которое заключает в себе сначала эту энергию. В этом отношении представляют интерес данные о запаздывании радиовсплесков в длинных волнах по сравнению с короткими волнами. Эти данные как будто свидетельствуют в пользу того, что фактор, возбуждающий аномальное, не тепловое радиоизлучение, перемещается в атмосфере Солнца наружу со скоростью порядка нескольких сот километров в секунду. Однако, на самом деле, не исключена возможность того, что первичный фактор, вызывающий всплеск, распространяется гораздо быстрее, но время, необходимое для превращения выделяемой энергии в радиоизлучение, зависит, скажем, от плотности среды и имеет большую длительность при меньшей плотности. Поэтому нам кажется, что было бы осторожнее принять, что названный выше порядок скорости является лишь нижней границей для скорости переноса вещества, из которого освобождается энергия.

§ 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно считать установленным, что в атмосферах звезд типа UV Кита и звезд типа Т Тельца мы наблюдаем в огромных масштабах выделение энергии, приносимой какими-то неизвестными носителями этой энергии из внутренних слоев звезды. Освобождающаяся при этом дискретными порциями энергия излучается затем в окружающее пространство в виде дополнительного теплового излучения. непрерывной эмиссии

и линий испускания. В старых звездах, подобных Солнцу, те же процессы во внешних слоях происходят в гораздо меньших масштабах.

Тот факт, что эти процессы особенно интенсивны у звезд типа Т Тельца, являющихся молодыми звездами, еще не вышедшими из состава звездных ассоциаций и, следовательно, сравнительно недавно возникшими из протозвезд, которые, по имеющимся данным [42] должны состоять из весьма плотного дозвездного вещества, говорит в пользу того, что речь идет об освобождении энергии при процессах распада дозвездного вещества, напоминающих явления радиоактивного распада. Если довести до конца этот взгляд, то нужно считать, что источником звездной энергии является дозвездное вещество, которое продолжает сохраняться в недрах звезд длительное время. Исходя же из стремления иметь единое объяснение происхождения звездной энергии, следует отказаться от предположения о термоядерных реакциях, как об основных источниках этой энергии.

Нам кажется, что присутствие лития в большом изобилии в некоторых звездах типа N прямо говорит о несостоятельности представления о термоядерных реакциях, как источниках внутризвездной энергии, а изобилие технеция в звездах типа S столь же прямо указывает направление, в котором следует искать решение задачи о природе этих источников.

ԱՆՐՆԴՀԱՏ ԱՌԱՔՄԱՆ ՆՐՆՎՈՒՅԹԸ ԵՎ ԱՍՏՂԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

1. Մինչև այժմ աստղային էներգիայի աղբյուրների մասին մեր գաղափարները կառուցվել են գլխավորապես մտահանցողաբար: Ենթադրվում էր, որ քանի որ այդ աղբյուրները գործում են աստղերի կենտրոնական շերտերում, ապա չկա ոչ մի հնարավորություն անմիջապես ուսումնասիրելու այդ աղբյուրների բնույթը և օրինաչափությունները: Այդ պատճառով աստղագիտության մեջ ընդունված էր, այսպես կոչված, մոդելների մեթոդը, որը կայանում էր նրանում, որ արվում են այս

կամ այն ենթադրություններ աստղի ներքին շերտերի և աղբյուրների ֆիզիկական ընդլայնման, որոնց հիման վրա մաթեմատիկական հաշիվները միջոցով հնարավոր էր դառնում հաշվել տարբեր ֆիզիկական մեծությունների՝ խտություն, ջերմաստիճան, ճնշման և այլոց բաշխումը աստղի ներսում, երբ աստղի զանգվածը հայտնի է: Պարզ է, որ տարբեր ենթադրությունները բերում են տարբեր մոդելների, և եթե ավյալ ենթադրությունը թույլ է տալիս մոտենել բավական թվով իրարից անկախ ֆիզիկական պարամետրներ, ապա հնարավորություն է ստեղծվում, բնարելով այդ պարամետրերի արժեքները, ստանալ մոդելներ, որոնք տվյալ զանգվածի գեպքում ունեն նույն լուսատվությունը և շառավիղը, ինչպես այդպիսի զանգված ունեցող գիտվող աստղերը: Աստղերի ներքին կառուցվածքի ժամանակակից տեսությունը, ընդունելով որպես էներգիայի աղբյուրներ ջերմամիջուկային ռեակցիաները, միևնույն ժամանակ մոտենում է այնպիսի պարամետրներ, ինչպես Ջրածնի ատկոսը և ծանր էլեմենտների քանակը: Այսպիսով կարելի է բացատրել յուրաքանչյուր առանձին աստղ, բայց այդ ձևով չի հաջողվում խորապես վերլուծել աստղերի մասին նդած տվյալները և, մասնավորապես, չի հաջողվել նախագուշակել տաղադիրտական նոր տիպի ուղեերևույթ:

Այս հանգամանքները ստիպում են փնտրել նոր ուղիներ աստղային էներգիայի աղբյուրների խնդիրը լուծելու համար: Թվում է, որ առաջին հերթին պետք է, այնուամենայնիվ, փորձել փնտրել փաստեր, որոնք կարող են անմիջապես բնութագրել ներաստղային էներգիայի ազատման օրինաչափությունները:

2. Գիտակցելով խնդրի դժվարությունը, մենք փորձում ենք անել տվյալ աշխատության մեջ առաջին համեստ քայլը նշված ուղղությամբ: Այդ նպատակով մենք ուղադրություն ենք դարձնում այն փաստերի վրա, որոնք կապված են սրռ լիովութական աստղերի կողմից առաքվող ճառագայթման հետ, որը թեև ունի անընդհատ սպեկտր, բայց կրում է ոչ ջերմային բնույթ: Խոսքը վերաբերում է այն ճառագայթման, որը առաքվում է UV կետի տիպի աստղերի կարճատև լուսկումների ժամանակ, ինչպես նաև T Ցուլի տիպի աստղերի կողմից: Ինչպիսի հայտնի է, UV կետի լուսկումների ժամանակ տաղապող անընդհատ առաքումը ամբողջապես քողարկում է աստղի նորմալ սպեկտրի

կլանման գծերը: Նմանապես T ծուլի տիպի աստղերը հաճախ ցույց են տալիս անընդհատ առաքման երևույթ: Վերջապես կան T ծուլի տիպի այնպիսի աստղեր, որոնց մոտ այդ առաքումը հարատև է (օրինակ՝ DD ծուլի աստղը):

Բոլոր դեպքերում անընդհատ առաքման էներգիայի քանակը այնչափ մեծ է, որ անհնարին է բացատրել այն աստղի մթնոլորտում կատարվող էներգիայի փոխանակման երևույթներով: Մնում է եզրակացնել, որ այդ էներգիան անմիջապես տեղափոխվում է աստղի ներքին շերտերից դեպի մթնոլորտի ամենավերին շերտերը և այնտեղ ազատվում է, վերածվելով անընդհատ առաքման: UV կետի տիպի աստղերի բունկման կարճատևությունը ապացուցում է, որ էներգիան ստացվում է ներքին շերտերից միանգամից, դիսկրետ քանակությամբ շերտերով:

3. Աստղի ներքին շերտերից էներգիան այս բոլոր դեպքերում տեղափոխվում է, մեզ առայժմ անհայտ միջոցով, երևի պարփակված լինելով ինչ որ շարժվող զանգվածի մեջ: Այդ էներգիան կարող է ազատվել ոչ միայն մթնոլորտի աբսորբից շերտերում, այլ նաև նրա ներքին շերտերում, աստղի ֆոտոսֆերայում և, միևնույն անգամ անմիջապես ֆոտոսֆերայի տակ գտնվող շերտերում: Դրանով կարելի է բացատրել, թե ինչու T ծուլի տիպի աստղերի պայծառացումը միջոց չէ, որ կարելի է բացատրել անընդհատ առաքմամբ: Հաճախ այդ պայծառացման զգալի մասը պայմանավորված է լինում պայծառ գծերի առաքումով, լրացուցիչ ջերմային ճառագայթումով:

4. T ծուլի տիպի աստղերի հետ հաճախ կապված են գիսավորաձև միգամածություններ: Սովորաբար նրանք ունենում են անընդհատ սպեկտր: Սակայն նրանց ճառագայթումը չի հաջողվում բացատրել բոլոր դեպքերում աստղի ճառագայթման անդրադարձումով: Պատահում են դեպքեր (օրինակ, B 10 միգամածությունը ծուլում), երբ աստղի յուրյի անդրադարձումը կարող է բացատրել գիսավորաձև միգամածության ճառագայթման ինտենսիվության միայն մի չնչին տոկոսը: Ահա ինչու պետք է եզրակացնել, որ այս դեպքում ևս զգալի դեր է խաղում անընդհատ առաքումը: Հետևաբար պետք է ընդունել, որ աստղի ներսից դուրս եկող և էներգիա պարունակող նյութը կարող է հասնել նաև զգալի հեռավորության՝ աստղից և ազատվել գիսավորաձև միգամածության ծավալում: Այդ հանգամանքը հասկանալի է դարձնում, թե ինչու գիսավորաձև միգամածությունների լու-

աստիճանները փոփոխվում է որոշ չափով անկախ աստղի պայծառության փոփոխություններից:

Դիսպոլորածև միգամածությունները հաճախ դիտվում են որպես բաղադրիչ մասեր խոշոր դիֆֆուզ պայծառ միգամածությունների մեջ, երբ վերջիններս կապված են լինում T աստղասփյուռների հետ:

5. Մի շարք փաստեր, որոնք վերաբերում են աստղերի մթնոլորտների քիմիական բաղադրության, խոսում են այն մասին, որ այդ աստղերի արտաքին շերտերում կատարվում են ոչ ջերմային տիպի քայքայման պրոցեսներ: Այդ պրոցեսների հետևանքով աստղերի մթնոլորտներում առաջանում են այնպիսի ատոմներ, որոնք չեն կարող հաբատե գոյություն ունենալ այնտեղ, եթե նրանք անընդհատ չառաջանային քայքայման պրոցեսներից:

Այդ տեսակի փաստերից ամենակարևորն է տեխնեցիումի առատությունը S տիպի աստղերի մթնոլորտներում: Այդ առատությունը փոփոխվում է նշված աստղերում ցիրկոնիումի առկայության զուգահեռ, Խնչպես հայտնի է, տեխնեցիումի բոլոր իզոտոպները անկայուն են և նրանց առաջացումը աստղերում անհնարին է բացատրել ջերմամիջուկային ռեակցիաների միջոցով:

Նույնպիսի նշանակություն ունի լիթիումի առատությունը N տիպի աստղերում և նույն էլեմենտների, ինչպես նաև բերիլիումի և դեյտերիումի առկայությունը արեգակի մթնոլորտում:

Բնական է ենթադրել, որ աստղերի ներքին շերտերից դուրս եկող այն զանգվածը, որը բերում է իր հետ էներգիայի մեծ քանակություններ, ազատելով այդ էներգիան քայքայման պրոցեսում, միևնույն ժամանակ սկիզբ է տալիս վերոնշյալ ատոմներին: Այստեղից պետք է արվի այն եզրակացությունը, որ այն նյութը, որը հանդիսանում է աստղային էներգիայի աղբյուր, չունի այնպիսի կառուցվածք, որը սովորական է մեզ հայտնի նյութի համար, այլ այնպիսին է, որ վեր է ածվում սովորական նյութի՝ էներգիայի հսկայական քանակություններ ազատելուց հետո:

Պարզ է, որ այս վերջին եզրակացությունները դեռևս ենթակա են մանրամասն քննության և ստուգման: Մեր խնդիրն էր ցույց տալ միայն, որ ժամանակակից աստրոֆիզիկայի փաստերը կարող են շատ ըստի տեսել աստղերի էներգիայի առաջաց-

ման մասին: Ավելին, մենք տեսանք, որ աստղերի ճառագայթման, էներգիայի ազատման պրոցեսները առավել մեծ չափերով մենք դիտում ենք այնպիսի աստղերի արտաքին շերտերում, որոնք, համաձայն աստղասփյուռների տեղություն, ներկայացնում են իրենցից նոր առաջացած աստղեր: Ահա ինչու աստղերի էներգիայի աղբյուրների խնդիրը սերտորեն կապվում է այստեղ աստղային կոսմոգոնիայի հարցերի հետ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян. Вводный доклад на симпозиуме по эволюции звезд. Москва, 1952.
2. Джой и Хьюматон. PASP, 81, 133, 1949.
3. Рок. PASP 85, 19, 1953.
4. Джой. PASP 88, 5, 1954.
5. Джой. Ap. J. 102, 168, 1945.
6. Кукаркин и Парёнаго. Общий каталог переменных звезд. Изд. АН СССР. Москва—Ленинград, 1948.
7. Леман Балановская. П. 3, 5, 9, 1935.
8. Холопов. П. 3, 8, 83, 1951.
9. Джой. Ap. J. 110, 424, 1949.
10. Церасская. А. N. 170, 339, 1906.
11. Хербиг. PASP 80, 256, 1948.
12. Струве и Свингс. PASP 80, 61, 1948. См. также: Струве Stellar evolution, стр. 109, 1950.
13. Хербиг. Ap. J. 111, 15, 1950.
14. Паренаго. П. 3, 7, 169, 1950.
15. Шайн П. Ф. AN 234, 41, 1928.
16. Хербиг. J. RAS of Canada 46, 292, 1952.
17. Уитней и Уэстон. Ap. J. 107, 371, 1948.
18. Харо. Ap. J. 117, 73, 1953.
19. Гринштейн. Ap. J. 107, 375, 1948.
20. Гринштейн и Хеней. Ap. J. 89, 653, 1939.
21. Шайн Г. А. и Газе В. Ф. Атлас диффузных газовых туманностей. Москва, 1952.
22. Фесенков В. Г. и Рожковский Д. А. Атлас газово-пылевых туманностей, 1953.
23. Газе. Известия КРАО, 10, 213, 1953.
24. Шарплесс. Ap. J. 119, 334, 1954.
25. Газе и Шайн. Известия КРАО, 9, 52, 1952.
26. Куффей. Н. А. 105, 403, 1937.
27. Уэстон А. J. 58, 48, 1953.
28. Уэстон. А. J. 57, 28, 1952.

29. Глизе и Вальтер. Zsl. Ap. **29**, 94, 1951.
30. Хербиг. Ap. J. **111**, 11, 1950.
31. Хербиг. Ap. J. **113**, 697, 1951.
32. Харо. Ap. J. **115**, 572, 1952.
33. Блау В. А. N **11**, 405, 1952.
34. Хербиг. PASP **68**, 19, 1954.
35. Шкловский. ДАН СССР, **90**, 983, 1953.
36. Меррил. Ap. J. **116**, 21, 1952.
37. Хюбнер, Де-Ягер и Цваан. Сборник „Les processus nucléaires dans les Astres“, стр. 471, Лувен, 1954.
38. Де-Ягер. Цитированный сборник, стр. 460.
39. Северный. ДАН СССР (в печати).
40. Гусейнов. Кандидатская диссертация. Ереван, 1953.
41. Гордон. ДАН СССР, **94**, 813, 1954.
42. Амбарцумян. Сборник „Les processus nucléaires dans les Astres“, стр. 293.