

Переменные звезды 20, 283 – 298, 1977
Variable Stars 20, 283 – 298, 1977

**Звездный магнетизм как решающий фактор вспышечной
 активности и эволюции переменных звезд типов
 UV Кита и Т Тельца**

Р. Е. Гершберг

Рассмотрение основных звездно-статистических и астрофизических свойств вспыхивающих звезд типа UV Кита приводит к заключению, что эволюция этих объектов, как и других звезд, определяется их массой и химсоставом; но третий существенный эволюционный фактор – это магнитное поле, которое обуславливает в конечном счете все проявления вспышечной активности. Основные физические особенности звезд типа Т Тельца могут быть поняты в рамках гипотезы, согласно которой эти объекты обладают крупномасштабными полем, напряженность которого близка к тому критическому уровню, когда начинается сильное взаимодействие поля и подфотосферной конвекции, в результате которого яркость фотосферы значительно уменьшается, как в солнечном пятне. По-видимому, эта гипотеза намечает путь к пониманию феномена фуора и объектов Хербига-Аро. В рамках представлений о существенной роли магнетизма в UV Cet - и Т Тау – звездах обсуждаются возможности физической и генетической общности этих объектов.

**Stellar Magnetism as a Decisive Factor of Flare Activity
 and of Evolution of the UV Ceti and
 T Tauri - Types Variable Stars**

by R. E. Gershberg

Considerations of the main stellar statistical and astrophysical features of UV Cet-type flare stars lead to the conclusion that the evolution of these variables as well as other stars is determined by their masses and chemical composition; the third evolutionary factor is a magnetic field that is responsible, eventually, for all manifestations of flare activity.

The main physical features of the T Tau-type stars may be understood in the framework of a hypothesis that these stars have large scale magnetic fields with strengths close to a critical level at which the field and subphotospheric convection begin to interact strongly, which results in a significant decrease of the photospheric brightness, as in a sunspot. This hypothesis indicates a way for understanding the FU Ori-type flares and the Herbig-Haro objects.

Within the framework of the idea of the essential role of stellar magnetism in UV Cet- and T Tau-type stars, possibilities of their physical and genetic commonality are discussed.

Основные результаты настоящей работы были доложены 4.8.76. в Крымской обсерватории на заседании астрофизического семинара, посвященном 20^{ой} годовщине кончины академика Г.А.Шайна.

Среди исследователей переменных звезд в настоящее время широкой популярностью пользуются следующие утверждения:

вспышечная активность звезд типа UV Кита — это ослабленная в ходе эволюции форма активности звезд, которые ранее обладали переменностью типа Т Тельца;

активность звезд типа Т Тельца является реликтом бурных конвективных движений эпохи первоначального гидродинамического сжатия;

переменные типа Т Тельца — это предшественники стационарных звезд нижней части главной последовательности.

Каждое из этих утверждений заслуживает, однако, критического рассмотрения. Во всяком случае, совокупность наблюдательных фактов, лежащих в основе этих утверждений, дополненная результатами исследований последних лет, допускает альтернативную интерпретацию.

1. Звездно-астрономические и астрофизические основы эволюционной теории вспыхивающих звезд.

Выполненные к настоящему времени исследования с несомненностью доказали тождественность физической природы активности вспыхивающих звезд (в.з.) в окрестностях Солнца и в звездных скоплениях. Действительно, в.з. в скоплениях имеют те же спектральные классы, что и самые яркие UV Cet — звезды солнечной окрестности (Ириарте, 1975). При фотозлектрических наблюдениях обнаруживаются такие же типичные кривые блеска отдельных вспышек (Родано, 1975) и сходные энергетические спектры вспышечной активности в целом (Краснобабцев и Гершберг, 1975). Несмотря на крайнюю скудность данных по спектрам вспышек звезд в скоплениях, создается впечатление, что они аналогичны спектрам вспышек ближайших к Солнцу в.з. (Аро, 1968). На в.з. в скоплениях, как и на в.з. солнечной окрестности, обнаружены специфические малые колебания блеска (Робинсон и Крафт, 1974) и заподозрены одновременные с оптическими вспышками мощные всплески нетеплового радиоизлучения (Сли и Хиггинс, 1971). Так что разнородность наблюдательных данных по в.з. в окрестностях Солнца и в звездных скоплениях обусловлена, прежде всего, различиями методов исследования этих объектов. Общность же физической природы активности требует единой эволюционной схемы. Рассмотрим некоторые общие результаты звездно-астрономических и астрофизических исследований в.з., которые имеют непосредственное отношение к эволюционной теории этих объектов.

1.1. Многочисленность вспыхивающих звезд. Как известно, в.з. очень много. Из 33 звезд, находящихся на расстоянии не более 4 пс от Солнца, по крайней мере 13 относятся к типу UV Кита; если в этих ближайших окрестностях существуют еще слабые неоткрытые звезды, то доля вспыхивающих среди них должна быть еще большей. Далее, известно также, что сильная перманентная эмиссия водорода в спектре М-карли-

ка позволяет практически безошибочно относить его к переменным типа UV Кита. В связи с этим вывод Джоя и Абта (1974) о том, что эмиссионные объекты составляют 3% среди $dM0$, 50% среди $dM4,5$ и 100% среди $dM5,5$ и более поздних М-карликов, означает, что в.з. составляют большинство среди самых слабых объектов в окрестностях Солнца. Поскольку по пространственно-кинематическим характеристикам эти звезды достаточно разнородны (см. ниже), то этот вывод — многочисленность в.з. — следует рассматривать как свойство случайной выборки звезд поля Галактики.

Многочисленность в.з. в Плеядах и в некоторых других скоплениях была обнаружена Амбарцумяном и его сотрудниками. Согласно фундаментальному исследованию Бюраканских астрофизиков (Амбарцумян и др., 1973), если вспышечная активность звезд в Плеядах подчиняется принципу эргодичности, то число в.з. в этом скоплении составляет большую часть общего числа членов скопления; сходные результаты получаются и по мере накопления необходимых наблюдений в других звездных скоплениях (Амбарцумян и Мирзоян, 1975). Поскольку гипотеза эргодичности представляется в высшей степени правдоподобной, то результаты статистики в.з. в скоплениях и в окрестностях Солнца с неизбежностью приводят к заключению, что

вспышечная активность свойственна значительной или даже подавляющей части звезд малых масс, то есть, это свойство большей части звезд Галактики, а не редкая аномалия в звездном мире.

1.2. Свойства в.з. разного возраста. Аро и Чавира (1965) провели классическое исследование в.з. в 7 звездных скоплениях различного возраста — от 3×10^5 до 10^8 лет — и показали, что с переходом от молодых к более старым скоплениям систематически изменяются некоторые статистические характеристики входящих в них в.з.: исчезает связь с диффузной материей, все более поздним становится спектральный класс самой горячей в.з. скопления, все теснее прилегают в.з. скопления к главной последовательности и растет доля в.з., на которых зарегистрированы повторные вспышки. Позднее Крафт и Гринштейн (1967) и Робинсон и Крафт (1974) нашли, что в сравнительно молодых Плеядах число dMe и пятнистых звезд, которые наверняка являются вспышечными, гораздо больше, чем в более старых Гиадах.

Эти наблюдения содержат важную информацию по эволюции в.з., но они отягощены также эффектами наблюдательной селекции. В частности, наблюдения в.з. в окрестностях Солнца показывают, что на менее ярких звездах вспышки регистрируются чаще (Пти, 1970), и это — эффект обнаружения малых колебаний яркости на фоне различного постоянного блеска звезды; поэтому увеличение доли в.з. с зарегистрированными повторными вспышками при переходе к более старым скоплениям, где в.з. абсолютно менее ярки, есть, видимо, эффект селекции наблюдений, а не результат реального увеличения уровня вспышечной активности с возрастом.

Основной метод оценки возраста в.з. в окрестностях Солнца — это анализ их пространственных скоростей. Первоначально рассмотрение

этих характеристик сравнительно небольшого числа в.з. в окрестностях Солнца привело к выводу, что все такие звезды — это относительно молодые объекты населения диска с характерным возрастом около 10^8 лет. Последующие исследования существенно уточнили этот вывод: были открыты быстрые в.з. и сейчас возраст в.з. в окрестностях Солнца оценивается величинами от 10^8 до 10^{10} лет, хотя большая часть этих объектов, действительно, находится у нижнего предела этого диапазона.

Между кинематическими характеристиками в.з. и уровнем их вспышечной активности существует уверенная статистическая корреляция: у более быстрых, то есть более старых звезд вспышечная активность слабее (Шаховская, 1975). Важна, однако, не только эта статистическая корреляция, но и сам факт большой дисперсии кинематических характеристик в.з. в окрестностях Солнца. Это обстоятельство заставляет отказаться от гипотезы, что ближайшие к Солнцу в.з. образуют систему типа ассоциации (Осканян, 1964), и дает основание рассматривать их как случайную выборку звезд поля. С другой стороны, существование очень старых в.з. следует не только из статистики кинематических характеристик, выводы которой относительно немногочисленных конкретных объектов всегда имеют лишь ограниченную достоверность, но и из независимых фактов принадлежности к в.з. таких объектов, как звезда V 1054 Ori, которая входит в движущееся скопление Wolf 630 с ГР-диаграммой типа диаграммы старого скопления M 67, звезда V 645 Cen, возраст которой близок к возрасту Солнца, типичный субкарлик SZ UMa и компонент системы Grmb 1830, которая относится к населению гало и по кинематическим характеристикам, и по типичным для старых звезд аномалиям химсостава (Кункель, 1975; Босгаард и Хаген, 1974; Томкин, 1972).

Таким образом, рассмотрение в.з. разных возрастов позволяет утверждать, что

вспышечная активность присуща звездам, возраст которых заключен в огромном диапазоне величин от $3 \cdot 10^5$ до 10^{10} лет; вспышечная активность у более старых звезд статистически слабее, чем у молодых звезд;

фаза вспышечной активности у менее массивных М-звезд статистически более продолжительна, чем у более массивных К-звезд.

1.3. В.з. — магнитные звезды малых масс. Вспышечная активность красных карликовых звезд идентична по своей физической природе с солнечной активностью. Эта довольно старая идея подтверждается огромным количеством современных данных наблюдений (Гершберг, 1975). Действительно, на Солнце и на в.з. скоротечные вспышки локализуются на сравнительно небольших участках поверхности; в обоих случаях возмущения охватывают атмосферу звезды по всей высоте от фотосферы до короны; звездные и солнечные вспышки обнаруживают подобные кривые блеска и сходный характер излучения в огромном диапазоне длин волн — от метровых радиоволн до мягкого рентгена, а в области, где формируется излучение водородных эмиссионных линий, физические условия — плотность и температура газа — оказываются до-

статочны близкими; важное сходство солнечных и звездных вспышек — это сравнительно небольшие скорости движения вещества, ответственного за оптическое излучение, при одновременном существовании весьма больших скоростей в корональных областях, откуда исходит радиоизлучение вспышек. Существенно, что солнечные и звездные вспышки возникают в условиях, которые также обнаруживают важные черты сходства: на Солнце и на красных карликовых звездах над сравнительно холодной фотосферой расположена более горячая хромосфера и переходящая в звездный ветер корона, причем и фотосфера, и хромосфера обнаруживают значительную неоднородность поверхностной яркости. Единственное существенное различие солнечных и звездных вспышек заключается в том, что регистрируемые на звездах оптические вспышки излучают на $2+4$ порядка величины больше энергии, чем солнечные хромосферные вспышки, и протекают звездные вспышки в среднем несколько быстрее солнечных.

Согласно современным представлениям, в конечном счете солнечная активность обусловлена конвективной зоной Солнца. В красных карликовых звездах конвективный перенос является определяющим на значительную или даже на всю глубину звезды. Поэтому высокая вспышечная активность этих холодных карликовых объектов не является неожиданной. Но между общими представлениями о внутреннем строении звезд и конкретными процессами, дающими скоротечные вспышки, лежит пока еще цепь гипотез и частных теорий. Одно из важнейших звеньев этой цепи — представления о решающей роли магнитного поля в явлениях вспышечной активности. Общая картина разнообразных процессов в солнечной атмосфере как результата сложных взаимодействий магнитных полей и плазмы дана в монографии Каплана и др. (1977). В частности, там изложена наиболее разработанная модель солнечной вспышки — схема аннигиляции магнитного поля в токовом слое, где возникают быстрые частицы и турбулентная плазма, определяющие, как известно, все разнообразие явлений, связанных со вспышкой; в рамках этой схемы увеличение напряженности магнитного поля дает и большую энергию вспышки, и более быстрое ее развитие (Сыроватский, 1976). В другой модели энергию вспышек поставляют альвеновские волны, которые возникают в сильном магнитном поле пятен (Пиддингтон, 1973). Пока не ясно, являются ли эти схемы альтернативными или дополняющими друг друга, но важно отметить, что в обеих моделях мощные вспышки связываются с сильными локальными магнитными полями. Все эти соображения давно уже породили подозрения, что на в.з. должны существовать сильные магнитные поля.

Уверенных измерений магнитных полей в.з. до сих пор не существует. Это объясняется и слабым блеском в.з., что затрудняет получение спектров с необходимым высоким разрешением, и сложностью их спектров, где трудно выбрать неблендированную и чувствительную к полю спектральную линию. Но единственная попытка прямого измерения поля, предпринятая Андерсоном, Хартманном и Боппом (1976), и несколько независимых косвенных оценок (Гершберг и Пикельнер, 1972; Бопп и Эванс, 1973; Кан, 1974; Ворден, 1974) дают близкие

величины от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч гаусс. И хотя положение о магнетизме в.з. рассматривалось как до некоторой степени гипотетическое, Мюлл ан (1974 б, 1975а,б, 1976) выполнил ряд важных теоретических исследований, которые придали этому положению доказательную силу. Так, в ходе исследований Мюлл ан получил естественное объяснение характерного размера темных пятен на в.з.; нашел причину сдвига среднего спектрального класса пятнистых звезд относительно среднего спектрального класса в.з.; выяснил физическую связь сильной перманентной эмиссии водорода и вспышечной активности; объяснил высокую электронную плотность в звездных хромосферах и коронах и большую фотометрическую неоднородность звездных хромосфер по сравнению с аналогичными параметрами в солнечной атмосфере; дал простое объяснение тому неожиданному факту, открытому Бланк о и др. (1974), что светимость хромосфер в.з. существенно превосходит ожидаемый поток акустических волн в атмосферах этих объектов. В результате, несмотря на то, что исследования Мюлл ан носят предварительный полукачественный характер, обширный набор свойств в.з., которые ему удалось представить "масштабируя" явление солнечной активности уменьшением массы звезды и увеличением напряженности локальных магнитных полей, не оставляет сомнений в том, что вспышечная активность присуща карликовым звездам с сильными локальными магнитными полями, поскольку с такими полями связываются и сами вспышки, и сильная перманентная хромосфера, и пятна — все основные особенности в.з.

1.4. Факторы, определяющие эволюцию в.з. Выводы, перечисленные в п.п. 1.1 — 1.3, позволяют выделить физические параметры, определяющие эволюцию в.з.

В современной теории звездной эволюции весь путь развития звезды — по крайней мере одиночной — определяется двумя параметрами: массой и химическим составом. Перечисленные выше результаты наблюдений в.з. позволяют утверждать, что эти факторы существенны и для эволюции рассматриваемых переменных.

Действительно, как уже упоминалось, самые молодые в.з. располагаются широкой полосой над главной последовательностью, а более старые в.з. все теснее прилегают к ней. Как известно, в рамках существующих эволюционных представлений эта особенность — общее свойство звезд, выходящих из фазы первоначального сжатия на главную последовательность. Далее, большая длительность фазы вспышечной активности М-звезд по сравнению с К-звездами также соответствуют известному выводу эволюционной теории о более медленном развитии звезд малых масс. Наконец, в.з. — субкарлики занимают на ГР-диаграмме место, где находятся и постоянные субкарлики, то есть эффект химсостава во в.з. работает так же, как и в стационарных звездах. Следует заметить, что обнаружение в.з. под главной последовательностью рассматривалось ранее как серьезная трудность для эволюционной теории этих объектов; теперь же этот факт — лишь одно из доказательств существования старых в.з. Кроме того, запятненность звезд (Фридеманн и Гюртлер, 1975) и значительные энергетические потери на

сильный звездный ветер (Кан, 1974) могут приводить к дополнительному смещению в.з. под главную последовательность.

Возможно, что сообщения о важной роли массы и химсостава в эволюции в.з. представляются уже тривиальными. Но следует подчеркнуть, что важность этих двух факторов — не априорные допущения, а четкие выводы количественной теории внутреннего строения и эволюции звезд, которые, в частности, подтверждаются и наблюдениями в.з. Во всяком случае, ни альтернативные концепции звездной эволюции, ни развиваемая Гурзадяном (1973) концепция вспышечной активности не дают оснований считать эти параметры звезды определяющими ее судьбу.

Однако, этих двух факторов недостаточно для понимания эволюции вспышечной активности звезд, так как среди объектов сходного возраста и близких масс существуют звезды с весьма различными уровнями вспышечной активности. Поэтому представляется естественным предположение, что магнитное поле, которое решающим образом определяет физику вспышек, является также одним из основных факторов в.з. как таковых.

Магнитное поле является более подвижным фактором, чем масса и химсостав звезды: оно зависит и от магнетизма дозвездного вещества и от эффективности диссипации первичного поля и эффективности генерации собственного поля звезды, причем эти конкурирующие процессы в свою очередь зависят и от массы звезды и ее химсостава, и от вращения, и от того, является ли звезда одиночной или входит в ту или иную кратную систему. По-видимому, эта подвижность магнитного поля и определяет значительное разнообразие звездно-астрономических свойств в.з. и существование заметных флуктуаций на фоне монотонных статистических соотношений "спектр — вспышечная активность" и "возраст — вспышечная активность". В таком случае эволюционная теория звездного магнетизма должна быть существенным элементом теорий эволюции в.з.

2. Переменные типа Т Тельца: проблемы эволюции и физика нестационарности.

Как известно, переменные типа Т Тельца занимают особое положение среди нестационарных звезд. Около 30 лет назад Амбарцумян (1947) выдвинул концепцию звездных ассоциаций, основная идея которой состояла в том, что процесс звездообразования в Галактике продолжается и в наши дни и что Т Тау - звезды — это одна из начальных фаз развития звезд. С тех пор эти объекты привлекают пристальное внимание астрономов — в надежде увидеть своими глазами, как рождаются звезды.

2.1. Свидетельства молодости звезд типа Т Тельца. Первоначально вывод о молодости Т Тау-звезд был сделан на основе звездно-астрономических заключений о динамической неустойчивости Т-ассоциаций. Сейчас эти заключения считаются ошибочными или весьма спорными, но вывод о молодости Т Тау-звезд обычно подтверждается рядом независимых данных.

Во-первых, подавляющее большинство Т Тау - звезд входит в Т-ассоциации, которые являются компонентами самого плоского и самого

молодого населения Галактики. Далее, члены Т-ассоциаций имеют очень малые дисперсии скоростей, что также свидетельствует о молодости этих объектов. По разным оценкам возраст Т-ассоциаций составляет от 10^5 до 10^7 лет.

Во-вторых, хорошо известна тесная связь Т Тау - звезд с диффузными туманностями. Поскольку диффузные туманности являются короткоживущими образованиями, а массы многих туманностей, ассоциированных с Т Тау - звездами, столь велики, что их нельзя рассматривать как результат истечения вещества из звезды (Дибай, 1971), то сам факт такого ассоциирования свидетельствует о молодости рассматриваемых звезд.

В-третьих, то обстоятельство, что в Плеядах уже нет типичных Т Тау - звезд, означает, что возраст таких переменных не превышает несколько десятков миллионов лет.

В четвертых, одна из главных спектральных особенностей Т Тау - звезд - исключительно сильная абсорбционная линия лития. Поскольку существуют четкие свидетельства векового убывания этого элемента с переходом от молодых к более старым звездам (Скуманич, 1972; Боярчук, 1976), то, хотя причина избыточного содержания лития на Т Тау - звездах не вполне ясна, эта аномалия химического состава свидетельствует о молодости таких переменных.

В-пятых, спектральные наблюдения Т Тау - звезд давно уже дали повод предполагать существование значительного истечения вещества из таких объектов. И хотя за последние годы оценка темпа потери массы уменьшилась с 10^{-5} до $10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$ (Холопов, 1970; Куан, 1975), последние оценки все еще достаточно велики, чтобы служить дополнительным аргументом в пользу молодости этих объектов. Существуют, однако, принципиальные сомнения в правильности всех этих оценок: как показал Ульрих (1975), эмиссионные контуры с абсорбционным компонентом, смещенным в коротковолновую область, могут возникать не только при истечении вещества, но и в режиме аккреции.

В-шестых, на ГР-диаграмме большинство Т Тау-звезд лежит выше главной последовательности, что качественно согласуется с существующими теоретическими представлениями о ранних стадиях эволюции звезд. Посреди Т-полосы, содержащей на диаграмме эти переменные, проходит изохрона Хаяши, соответствующая 3×10^6 лет, а наиболее изученные Т Тау - звезды попадают в область, соответствующую возрасту от 10^5 до 5×10^6 лет. Но в этом случае, как и в предыдущем, существуют принципиальные сомнения (которые будут обсуждаться в п.2.3.) в доказательной силе этих соображений.

Итак, имеются по крайней мере 4 независимых довода в пользу молодости звезд типа Т Тельца. Как и в случае звезд типа UV Кита, существуют свидетельства, что у более старых Т Тау - звезд водородная эмиссия, а также инфракрасные избытки, слабее, чем у самых молодых Т Тау - звезд (Ридгени и др., 1976; Наке и др., 1973). Но в общем Т Тау - звезды обладают несравненно большим разнообразием спектральных особенностей и оно реализуется на гораздо меньшем диапазоне возраста, чем у звезд типа UV Кита.

2.2. Нерешенные проблемы физики Т Тау - звезд. Ситуация, когда известен примерный возраст некоторого типа звезд и обсуждается место этих объектов в общей схеме звездной эволюции при полном непонимании их физического состояния, представляется весьма парадоксальной. Но именно таково положение дел со звездами типа Т Тельца: ни одно из важнейших свойств этих объектов до сих пор не получило четкой физической интерпретации. Действительно, по сей день не ясно, благодаря каким особенностям строения атмосферы Т Тау- звезд отношение хромосферной и фотосферной светимости этих объектов на $2+3$ порядка величины выше, чем на Солнце; за счет каких источников энергии происходят мощные вспышки, суммарная энергия которых по порядку величины близка к светимости спокойного состояния звезды; каковы источники возбуждения протяженных оболочек и огромных инфракрасных избытков, в которых у многих Т Тау- звезд содержится основная часть полной светимости; наконец, не известно, что такое вспышка фуора. Кроме этих глобальных проблем, связанных в той или иной степени с вопросами источников энергии, существует ряд нерешенных более частных вопросов. Причем во многих случаях обсуждаются взаимоисключающие схемы. Так, если рекомбинационная природа ультрафиолетового избытка принимается, по-видимому, уже всеми исследователями, то в отношении голубой эмиссии еще не существует единой точки зрения, и за 20 лет изучения этого феномена для его объяснения привлекалась и гипотеза непрерывной эмиссии неизвестной природы (Амбарцумян, 1954), и синхротронное излучение релятивистских электронов (Гордон, 1954), и модель с понижением уровня температурной инверсии до слоев заметной оптической толщи (Хербиг, 1970), и переналожение слабых эмиссионных линий железа (Гаам и др., 1974), и рекомбинационное плюс свободно-свободное излучение газовой оболочки звезды (Ридгрени др., 1976), и переходное излучение (Гурзаян, 1973). Как уже упоминалось, сложные контуры эмиссионных линий интерпретируются и в рамках модели непрерывного истечения вещества из звезды, и в рамках модели аккреции.

На фоне этого безбрежного разнообразия теоретических моделей следует отметить два очень четких наблюдательных результата, полученных в последнее время в ходе оптических наблюдений Т Тау- звезд. Гаам и др. (1974) нашли, что колебания блеска одной из Т Тау- звезд в течение 9 ночей могут быть полностью отнесены за счет вариаций околозвездного поглощения в пылевой оболочке. А Петров (1976) пришел к выводу, что собственная переменность звезд рассматриваемого типа обусловлена по крайней мере двумя различными механизмами: у звезд меньшей светимости преобладают процессы типа хромосферной активности, тогда как у более ярких объектов переменность в большей степени связана с процессами в оболочках. Таким образом, трудности интерпретации звезд типа Т Тельца обусловлены реальным разнообразием процессов, протекающих на этих объектах. И создается впечатление, что принципиальный недостаток имеющихся теоретических моделей состоит в том, что в них не учитывается некий существенный фактор, который определяет в значительной степени физику этих объектов и может вызывать различные наблюдаемые эффекты. По-видимому, таким существенным фактором является сильное магнитное поле.

с учетом инфракрасного избытка, а $L_{p,h}$ — полная светимость фотосферы. В этом случае получаем $B \approx 3000 \pm 4600$ гс.

В-третьих, на основе теории ячеистой конвекции Мюллана (1974а) можно найти некоторый инвариант, определяющий характер взаимодействия конвекции и магнитного поля. Используя известные условия в солнечном пятне, критическую величину напряженности поля солнечных пятен и оценки условий на Т Тау- звездах, можно оценить величину критической напряженности поля Т Тау- звезд. Согласно этой оценке, в устойчивом состоянии Т Тельца у звезды следует ожидать поле в несколько килогаусс.

Полученные из независимых астрофизических соображений три оценки дают одинаковые по порядку величины ожидаемые напряженности магнитного поля, и это обстоятельство воодушевляет. Нам известно единственное измерение магнитного поля звезды рассматриваемого типа — самой Т Тельца: $B < 1000$ гс (Бэбкок, 1958). Едва ли, однако, это единичное измерение поля звезды столь сложного типа переменности можно считать решающим аргументом против предлагаемой гипотезы.

2.4. Некоторые следствия гипотезы УНКОМП. Предлагаемая гипотеза установления нормальной конвекции при ослаблении магнитного поля — гипотеза УНКОМП — позволяет приблизиться к пониманию многих свойств звезд типа Т Тельца и родственных им объектов.

Напряженность магнитного поля не может быть одинаковой по всей поверхности звезды, и если глобальное ослабление поля приводит к вспышке фуора, то процессы меньших масштабов, но той же физической природы могут быть ответственны за обычные вспышки звезд типа Т Тельца. Действительно, возникновение большого яркого пятна нормальной фотосферы может объяснить и появление абсорбционного спектра сильных вспышек RW Aur (Шалонж и др., 1971; Салманов, 1972), и голубой континуум вспышек, и определяющую роль континуума в медленных вспышках, зарегистрированных Арно (1968) на вспышечных звездах в Орионе. Иными словами, яркие островки нормальной фотосферы могут дать все известные квазиравновесные компоненты вспышек звезд типа Т Тельца. Возможно, такие вспышки следует рассматривать как репетиции к вспышкам фуора. Таким образом, гипотеза УНКОМП намечает пути решения всех энергетических проблем, связанных с Т Тау- звездами: она объясняет аномальное отношение светимостей хромосферы и фотосферы и искивает источники энергии для обычных вспышек, для инфракрасных избытков и для феномена фуора. Однако, если гипотеза эта верна, то теряют основание оценки возраста Т Тау- звезд по их положению на ГР-диаграмме, поскольку в результате магнитного ослабления оптической светимости такие объекты должны находиться на этой диаграмме гораздо ниже и правее соответствующих их массам и возрасту нормальных положений.

Сильное общее магнитное поле Т Тау- звезд, предполагаемое гипотезой УНКОМП, может иметь отношение к существенной асимметрии околосредной среды, которая проявляется в характерных кометарных туманностях. Хербиг (1976), сообщивший о третьем фуоре, подчерки-

вает тот факт, что все три фуора ассоциированы с такими туманностями. По-видимому, в свете соображений Рузмайкина (1975) о возможностях измерения магнитного поля по рассеянному излучению следовало бы заново рассмотреть поляризационные свойства кометарных туманностей.

Гипотеза УНКМП содержит лишь общую физическую идею процесса $T\text{ Tau} \rightarrow FU\text{ Ori}$, но отнюдь не его детальную схему. Очевидно, что быстрый нагрев большой части звездной атмосферы на значительную глубину должен сопровождаться бурными гидродинамическими процессами. По-видимому, именно эти движения, инициируемые УНКМП-процессом, который заведомо не может быть сферически симметричным, и обусловили сложный спектр $V1057\text{ Cyg}$ с набором различных лучевых скоростей, наблюдавшимся в начальной стадии развития этого фуора. С другой стороны, на более поздней стадии развития этого объекта близкие по времени наблюдения в различных областях спектра обнаружили определенные различия в спектральной классификации и в лучевых скоростях (Хербига, 1976); по-видимому, релаксационные процессы в еще не установившейся атмосфере могут дать такие эффекты. Наконец, очевидно, что наблюдаемое систематическое ослабление инфракрасного излучения $V1057\text{ Cyg}$ также хорошо вписывается в схему УНКМП, которая предполагает прекращение гидромагнитной подкачки энергии в газопылевую оболочку после вспышки фуора.

Объекты Хербига-Аро обычно рассматриваются как предшественники звезд типа Т Тельца. Как известно, типичный спектр таких объектов — это эмиссионный спектр Т Тау-звезд с чрезвычайно слабым континуумом. По-видимому, гипотеза УНКМП намечает путь к пониманию и этих объектов. Действительно, в изложенной выше схеме предполагается существование *одного* параметра, определяющего режим взаимодействия конвекции и магнитного поля. Есть, однако, основания считать, что в этом взаимодействии существуют *два* критических уровня магнитного поля. Экспериментальное основание — это выполненный Кношкой (1976) анализ магнитных полей солнечных пятен, который показал, что полутени пятен появляются при возрастании напряженности поля до $B > B_{кр} \approx 2000$ гс; теоретическое основание — это расчеты Штауде (1976) по конвективному переносу в магнитном поле с учетом анизотропности турбулентного переноса. Если все эти результаты подтвердятся, то объекты Хербига-Аро следует рассматривать как звезды с магнитным полем, превышающим второй критический уровень, и дающие Т Тау-звезды при ослаблении поля ниже этого уровня; при этом следует ожидать определенную общность — по крайней мере, в механизме возбуждения — небулярных структур объектов Хербига-Аро и газопылевых оболочек звезд типа Т Тельца.

Наконец, звезды типа Т Тельца являются спектрально выделенной группой в обширном семействе орионовых и быстрых неправильных переменных, которые обладают рядом общих фотометрических свойств и простираются вдоль всех спектральных классов главной последовательности. Возможно, что именно процесс УНКМП является той физической общностью, которая объединяет эти объекты, хотя у звезд разных масс можно ожидать и значительные различия в уровне критической

напряженности магнитного поля, и большие различия в обилии околозвездного вещества, в результате чего один и тот же физический процесс даст разные наблюдаемые явления.

3. О возможной физической и генетической общности переменных типа UV Кита и T Тельца.

Идея физического и генетического родства T Tau - и UV Cet - звезд неоднократно обсуждалась в известных работах Амбарцумяна, Аро, Хербига, Поведы, Розино, Холопова и других исследователей. Не касаясь истории развития этой идеи, — она подробно изложена в недавней работе Аро (1976) — следует отметить, что сейчас эта идея опирается на тот факт, что в самых молодых звездных скоплениях наблюдаются переменные типа T Тельца, а в более старых скоплениях их сменяют в.з.; вместе с тем активность типа T Тельца является несравненно более мощным процессом, чем активность в.з., и представляется естественной гипотеза о монотонном затухании с возрастом звезды T Tau - активности до уровня активности типа UV Кита. Определенная общность эмиссионного спектра переменных обоих типов и регистрируемые иногда на T Tau - звездах быстрые всплески яркости, аналогичные вспышкам типа UV Кита, рассматриваются обычно как дополнительные аргументы в пользу такой идеи. Следует, однако, отметить две трудности такой гипотезы. Во-первых, массы в.з. составляют доли массы Солнца, а массы T Tau-звезд в десятки раз больше; если взять по Грасдалену (1973) $M(T\text{ Tau}) \approx 8 M_{\odot}$, а $M(\text{в.з.}) \approx 0.3 M_{\odot}$, то для перехода $T\text{ Tau} \rightarrow UV\text{ Cet}$ даже за 10^7 лет необходим темп потери массы около $10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$, что едва ли реально. Во-вторых, T Tau - звезды принадлежат к плоской системе Галактики, а в.з. встречаются и в диске, и в гало.

Изложенная выше концепция, согласно которой магнитное поле является решающим фактором в активности UV Cet - и T Tau-звезд, позволяет с новой точки зрения рассматривать вопрос о возможной общности этих объектов.

Согласно этой концепции, T Tau-звезды — это та фаза развития звезд, когда существует сильное крупномасштабное магнитное поле и мощная конвективная зона. Поскольку по существующим звездно-эволюционным представлениям все звезды проходят стадию преобладания конвективного переноса, то активность, обусловленная неустойчивостью магнитного подавления блеска звезды, может иметь место при достаточно большом поле на звезде любой массы; в зависимости от массы звезды можно ожидать ту или иную длительность фазы этой активности. В частности, можно предполагать, что те слабые члены Плеяд, которые указывают на большой "гравитационный" возраст скопления, противоречащий гораздо более короткому "ядерному" возрасту, в действительности не столь стары, но их оптический блеск подавлен магнитным полем. Детали диссипации первичного поля в условиях конвективной стадии развития звезды не известны: не ясно, будет ли поле звезды убывать монотонно или затухать с осцилляциями. Иными словами, не ясно, следует ли ожидать одну вспышку фуора за всю эволюцию звезды или на определенном этапе развития должен существовать пе-

риод, когда состояния Т Тельца и фуора будут чередоваться. Хербиг (1976) склоняется ко второй возможности на основании рассмотрения трех фуоров. По-видимому, тщательный поиск звезд типа FUOri в скоплениях Т Тау- звезд и сопоставление числа pre- и post- фуоров мог бы наметить более надежное решение этого вопроса.

С другой стороны, состояние звезды типа UV Кита — это длительная фаза развития, когда на звезде существуют сильные локальные поля и заметная конвективная зона. Такая ситуация может иметь место лишь на звездах сравнительно небольших масс, и это обстоятельство, как уже отмечалось, создает определенные трудности для гипотезы Т Тау → UV Cet. Вместе с тем, в рамках предлагаемой концепции тот факт, что на Т Тау - звездах регистрируются вспышки типа UV Кита (Аро, 1976), может и не иметь эволюционного смысла: если на Т Тау- звездах существуют сильные общие поля, то естественно допустить существование и более мелких структур, вариации которых могут приводить к локальным, резко неравновесным процессам, не затрагивающим глубоких слоев звезды — к процессам типа вспышек UV Кита.

4. Заключение.

Концепция магнитной природы переменности звезд типа Т Тельца и типа UV Кита позволяет сформулировать положения, альтернативные тем, что были приведены вначале:

переменные типа Т Тельца, обнаруживающие спектральные классы F — M, — это обладающие сильным крупномасштабным магнитным полем предшественники звезд главной последовательности спектральных классов A — G;

активность звезд типа Т Тельца — это проявление неустойчивости магнитного подавления блеска звезды; важно подчеркнуть, что магнитное поле выступает здесь не как источник энергии, а лишь как переключатель выхода энергии конвективных движений: либо в положение "гидромагнитные волны" — и тогда наблюдается звезда типа Т Тельца в спокойном состоянии, либо в положение "электромагнитное излучение" — и тогда наблюдаются вспышки типа Т Тельца или феномен фуора;

активность звезд типа UV Кита — это проявление неустойчивости магнитных локальных полей на в целом стационарных звездах, и эта активность прямо или косвенно питается энергией таких полей.

Выражаю глубокую благодарность Г. Аро и Дж. Хербигу, сообщившим результаты наблюдений Т Тау- звезд и фуоров до их опубликования, П.П. Петрову — за стимулирующие дискуссии и полезные советы, Д. Мюллману, обратившему мое внимание на исследования Ю.Штауде.

Литература:

- Амбарцумян В.А., 1947, Эволюция звезд и астрофизика, Изд-во АН Арм.ССР, Ереван.
 Амбарцумян В.А., 1954, Сообщения Бюраканской обс. 13.

- Амбарцумян В.А., Мирзоян Л.В., Парсамян Э.С., Чавушян О.С., Ерастова Л.К., Казарян Э.С., Оганян Г.Б., Янкович И.И., 1973, *Астрофизика* 9, 461.
- Амбарцумян В.А. и Мирзоян Л.В., 1975, В книге Sherwood V. and Plaut L. (eds.) 'Variable stars and stellar evolution', Reidel, Dordrecht, p. 3.
- Андерсон и др., 1976 — Anderson C.M., Hartmann L.W. and Boop B.W. *Ap J* 204, L 51.
- Аро, 1968 — Haro G. в книге Middlehurst B.M. and Aller L.H. (eds) 'Nebulae and interstellar matter', University Press, Chicago, p. 141.
- Аро, 1976 — Haro G. *Bol. Inst. Tonantzintla* 2, 3.
- Аро и Чавира, 1965 — Haro G. and Chavira E., *Vistas in astronomy* 8, 89.
- Бланко и др., 1974 — Blanco C., Catalano S., Marilli E., Rodono M. *Astron. Astrophys.* 33, 257.
- Боппи Эванс, 1973 — Bopp B.W. and Evans D.S., *Monthly Notices R.A.S.* 164, 343.
- Босгаард и Хаген, 1974 — Boesgaard A.M. and Hagen W., *ApJ* 189, 85.
- Боярчук М.Е., 1976. *Известия Крымской астрофиз. обс.* 55.
- Бэбкок, 1958 — Babcock H.W., *ApJ Suppl. Ser.* 3, 141.
- Ворден, 1974 — Worden S.P. *PASP* 86, 595.
- Гаам и др., 1974 — Gahm G.F., Nordh H.L., Olofsson S.G., Carlborg N.C.J. *Astron. Astrophys.* 33, 399.
- Гершберг Р.Е., 1975, В книге Sherwood V. and Plaut L. (eds) 'Variable stars and stellar evolution'. Reidel, Dordrecht, p. 47.
- Гершберг Р.Е., и Петров П.П., 1976, *Письма в АЖ* 2, 504.
- Гершберг Р.Е. и Пикельнер С.Б., 1972, *Comments Astrophys. Space Phys.* 4, 113.
- Гордон И.М., 1954, *Доклады АН СССР* 97, 621.
- Грасдален, 1973 — Grasdalen G.L., *ApJ* 182, 781.
- Гурзаян Г.А., 1973, "Вспыхивающие звезды." Наука. Москва.
- Дибай Э.А., 1971, *Астрон. журнал* 48, 1134.
- Джой и Абт, 1974 — Joy A.H. and Abt H.A., *ApJ Suppl Ser.* 28, 1.
- Ириарте, 1975 — Iriarte Erro B. *Bol. Inst. Tonantzintla* 1, 209.
- Кан, 1974. — Kahn F.D. *Nature* 250, 125.
- Каплан С.А., Пикельнер С.Б. и Цытович В.Н., 1977, *Физика плазмы солнечной атмосферы.* Наука. Москва.
- Кношка, 1976 — Knoška Š. *Bul. Astron. Inst. Czech.* 27, N 3, 159.
- Крафт и Гринштейн, 1967 — Kraft R. and Greenstein J. в книге Kumar S.S. (ed.) 'Low Luminosity stars'. Gordon and Breach, London, p. 65.
- Краснобабцев В.И. и Гершберг Р.Е., 1975, *Известия КрАО* 53, 154.
- Куан, 1975 — Kuan P., *ApJ* 202, 425.
- Кункель, 1975 — Kunke l W.E., в книге Sherwood V. and Plaut L. (eds.) 'Variable stars and stellar evolution'. Reidel, Dordrecht, p. 15.
- Мюллан, 1974 а — Mullan D.J., *ApJ* 187, 621.

- Мюллан, 1974 б — Mullan D.J., ApJ 192, 149.
 Мюллан, 1975 а — Mullan D.J., ApJ 200, 641.
 Мюллан, 1975 б — Mullan D., ApJ 40, 41.
 Мюллан, 1976 — Mullan D.J., ApJ 204, 530; 206, 672.
 Наке и др., 1973 — Knacke R.F., Strom K.M., Strom S.E.,
 Young E., Kunkei W., ApJ 179, 847.
 Осканян, 1964 — Oskanjan V., Publ. Obs. Astron. Beograd N 10.
 Петров П.П., 1976, Известия КрАО 54.
 Петров П.П. и Щербakov А.Г., 1976, Proc. III Europ. Astron.
 Meeting, Tbilisi, p. 163.
 Пиддингтон, 1973 — Piddington J.H., Solar Phys. 31, 229.
 Пти, 1970 — Petit M., Info. Bul. Var. Stars N 430.
 Ридгрени др., 1976 — Rydgren A.E., Strom S.E. and Strom K.M.
 Astrophys. J. Suppl. Ser. 30, 307.
 Робинсон и Крафт, 1974 — Robinson E.L. and Kraft R.P., AJ 79, 698.
 Родано, 1975 — Rodono M. в книге Sherwood V. and Plaut L. (eds.)
 'Variable stars and stellar evolution'. Reidel, Dordrecht.
 Рузмайкин А.А., 1976. АЖ 53, 550.
 Салманов И.Р., 1972. Цирк. Шемахинский астрофиз. общ., №1,3.
 Скуманич, 1972 — Skumanich A., ApJ 171, 565.
 Сли и Хиггинс, 1971 — Slee O.B. and Higgins C.S., Austr. J. Phys.
 24, 247.
 Стешенко Н.В., 1967, Известия КрАО, 37, 21.
 Сыроватский С.И., 1976, Письма в АЖ 2, 35.
 Томкин, 1972 — Tomkin J., Monthly Notices R.A.S. 156, 349.
 Ульрих, 1975 — Ulrich R.K. *preprint*.
 Фридеман и Гюртлер, 1975 — Friedemann C. and Gürtler J.
 Astron. Nachr. 296, N 3, 125.
 Хербиг, 1970 — Herbig G.H. Mem. Soc. Roy. Sci. Liege 19, 13.
 Хербиг, 1976 — Herbig G.H., *частное сообщение*.
 Холопов П.Н., 1970, в книге "Эруптивные звезды" под ред.
 Боярчука А.А. и Гершберга Р.Е. Наука, Москва, стр. 241.
 Шалонж и др., 1971 — Chalonge D., Divan L., Mirzoyan L.V.,
 Астрофизика 7, 345.
 Шаховская Н.И., 1975. Известия КрАО 53, 165.
 Штауде, 1976 — Staude J., Труды 8^{го} консультативного совещания по
 физике Солнца, Иркутск.

Крымская астрофизическая
 обсерватория АН СССР

Поступила в редакцию
 1 ноября 1976 г.