АСТРОФИЗИКА

ТОМ 36 МАЙ, 1993 ВЫПУСК 2

УДК 524.337.6, 524.31.082—54 ОБЗОРЫ

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ И ЭВОЛЮЦИЯ КРАСНЫХ КАРЛИКОВЫХ ЗВЕЗД

Л. В. МИРЗОЯН

Поступила 3 марта 1992

Обсуждаются результаты эволюционного исследования красных карликовых звезд, в свете работ, выполненных, главным образом, в обсерваториях Бюраканской и Тонантцинтла (Мексика). Особое внимание уделено вспыхивающим звездам, представляющим одну из ранних стадий их эволюции. Некоторые из изложенных результатов в настоящее время являются дискуссионными.

1. *Введение.* Одним из выдающихся результатов последних десятилетий в эволюции звезд является установление, на основе непосредственных наблюдений, эволюционного статуса вспыхивающих звезд. Он имел решающее значение для определения стадий эволюции красных карликовых звезд, самых многочисленных в Галактике, и места вспыхивающих звезд в этой эволюции.

Этот принципиальный результат показал, что в одной из ранних стадий эволюции—в стадии, представляемой вспыхивающими звездами, красная карликовая звезда приобретает вспышечную активность, когда наиболее важной ее особенностью становится способность производить, время от времени, вспышки—сильное и быстрое возрастание мощности звездного излучения и сравнительно медленное его убывание до первоначального уровня.

Общий подход к этой проблеме и некоторые результаты, полученные в этой области, были представлены в докладах Амбарцумяна и автора [1, 2] на Бамбергском коллоквиуме МАС «Новые направления и новые перспективы в исследовании переменных звезд» (1970) и на симпозиуме МАС в Москве «Переменные звезды и эволюция звезд» (1974), а также в докладе автора [3] на симпозиуме МАС в Бюракане «Вспыхивающие звезды в звездных скоплениях, ассоциациях и окрестностях Солнца» (1989). Обзор данных о вспыхивающих звездах содержится в статье автора «Вспыхивающие звезды» [4].

Эти исследования основаны на наблюдательном подходе к эволюции звезд, разработанном в Бюраканской астрофизической обсерватории [5] (см. также [6]), который оказался весьма плодотворным для изучения вопросов происхождения и эволюции звезд и звездных систем.

К ним непосредственно примыкают исследования, выполненные Аро и его сотрудниками (см., например, [7]) в обсерватори Тонанцинтла (Мексика), по изучению ранних стадий эволюции красных карликовых звезд.

В настоящее время проблема эволюции красных карликов привлекает внимание исследователей. Достигнутые в этой области важные результаты имеют первостепенное значение для всей проблемы эволюции звезд, а выполненная в этом направлении работа, как нам представляется, показывает правильный путь дальнейших исследований.

В настоящей обзорной статье рассматриваются результаты эволюционного изучения вспыхивающих звезд и их место в эволюции красных карликовых звезд, в свете последних исследований.

2. *Эволюционный статус вспыхивающих звезд. История этого неожиданного открытия необычна.*

В 1954 г. Амбарцумян [8], анализируя вопрос о природе непрерывной эмиссии в спектрах звезд типа Т Тельца, составляющих характерное население Т-ассоциаций, высказал идею о ее нетепловой природе и, исходя из молодости этих звезд, пришел к заключению, что она имеет внутризвездное происхождение. В связи с этим он обратил внимание на тот необычный наблюдательный факт, что непрерывная эмиссия появляется также в спектрах звезд типа UV Кита окрестностей Солнца во время их кратковременных вспышек, которые в этот период приобретают свойства, постоянно присутствующие у звезд типа Т Тельца.

Этот удивительный результат находился в противоречии с общепринятым представлением о том, что звезды типа UV Кита являются старыми образованиями. Несмотря на это, он послужил основанием для заключения, что звезды типов Т Тельца и UV Кита являются родственными объектами.

Вскоре были получены первые наблюдательные свидетельства в пользу этой точки зрения.

Аро и Морган [9] открыли несколько вспыхивающих звезд в весьма молодой звездной системе—ассоциации Ориона. Затем более десятка вспыхивающих звезд были обнаружены Аро и Терразас [10, 11] в ассоциациях Ориона, Единорога (NGC 2264) и Темных Облаков Тельца. После того, как стали известны результаты этих наблюдений, выполненных в обсерватории Тонанцинтла (Мексика), к фотографиче-

ским наблюдениям областей звездных ассоциаций, с помощью широкоугольного телескопа, с целью обнаружения и исследования вспыхивающих звезд, подключился Рюзино с сотрудниками [12, 13] в обсерватории Азиаго (Италия). Этими наблюдениями были обнаружены новые вспыхивающие звезды.

Открытие вспыхивающих звезд в звездных ассоциациях не только подтвердило физическую родственность звезд типа Т Тельца и вспыхивающих. Их сосуществование в этих молодых системах показало, что кроме старых вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца существуют и молодые вспыхивающие звезды.

Оказалось, что молодые вспыхивающие звезды отличаются от звезд типа UV Кита, в частности, более высокими светимостями и тесной связью с диффуной материей, и вначале казалось, что они составляют новый класс вспыхивающих объектов. Однако дальнейшие исследования не подтвердили этого мнения, и эти различия получили естественное объяснение (см. дальше).

Факт сосуществования в звездных ассоциациях звезд типа Т Тельца и вспыхивающих звезд выдвинул вопрос об эволюционном статусе последних.

Аро [14, 15] первым понял значение вспыхивающих звезд в изучении ранних стадий эволюции красных карликовых звезд. Основываясь на наблюдениях по поиску вспыхивающих звезд в звездных ассоциациях, он высказал идею о том, что в жизни красных карликовых звезд существует стадия вспыхивающей звезды, которая наступает после стадии, соответствующей звездам типа Т Тельца.

Для подтверждения этой принципиально важной идеи решающее значение имело случайное открытие Джонсоном и Митчеллом [16] первой вспыхивающей звезды в скоплении Плеяды, имеющем возраст— 7×10^7 лет [17], что на порядок величины превышает возраст ассоциации Ориона—около 10^6 лет [18], и уже не содержащем звезд типа Т Тельца.

Это открытие, сделанное во время фотометрических наблюдений звезд скопления Плеяды, инициировало новые, уже фотографические, наблюдения областей звездных скоплений, которые привели к обнаружению вспыхивающих звезд не только в Плеядах, но и в более старых скоплениях Ясли (возраст 4×10^8 лет [17]) и Гиады (возраст 6×10^8 лет [17]).

Этими открытиями был перекинут мост между вспыхивающими звездами типа UV Кита окрестностей Солнца и вспыхивающими звездами, входящими в состав звездных ассоциаций. Они показали, что вспыхивающие звезды, представляющие определенную стадию эволюции красных карликовых звезд, по крайней мере их некоторой части, встречаются в системах самого разного возраста. Причем, если в молодых

системах—ассоциациях вспыхивающие звезды сосуществуют со звездами типа Т Тельца, то в более старых системах, где нет звезд типа Т Тельца, они составляют самое многочисленное население.

Этот наблюдательный факт свидетельствует о том, что средняя продолжительность жизни вспыхивающих звезд, или стадии вспышечной активности, значительно превышает продолжительность стадии типа Т Тельца, что полностью гармонирует с гипотезой Аро [14, 15] о том, что в жизни красных карликовых звезд после стадии эволюции типа Т Тельца наступает стадия вспышечной активности.

В связи с этой гипотезой возникает естественный вопрос: является ли стадия вспыхивающей звезды закономерной стадией эволюции, через которую проходят все красные карликовые звезды, или имеются разные пути эволюции этих звезд?

Этот вопрос имеет первостепенное значение для изучения эволюции красных карликов. Его решение было связано с определением относительного числа вспыхивающих звезд в системах разного возраста.

В 1968 г. Амбарцумян [19] разработал простой статистический метод, который позволяет оценить полное число вспыхивающих звезд в какой-либо системе, если в ней уже обнаружено некоторое число звезд этого класса.

В этом случае полное число неизвестных вспыхивающих звезд в системе определяется следующей формулой [19]:

$$n_0 = \frac{n_1^2}{2n_2},$$

где n_1 и n_2—числа вспыхивающих звезд, наблюдавшихся во вспышках по одному и по два раза, соответственно.

Применив эту формулу к известным тогда всего 60 вспыхивающим звездам скопления Плеяды, для полного числа вспыхивающих звезд в этой системе Амбарцумян [19] получил значение больше 300. По порядку величины это число близко к числу всех звезд низких светимостей этого скопления. На этой основе было получено совершенно неожиданное, однако вполне обоснованное заключение о том, что *все или почти все звезды низких светимостей скопления Плеяды являются вспыхивающими.*

В свете общего происхождения всех звезд каждой физической системы, в данном случае скопления Плеяды, это заключение констатирует тот факт, что *стадия вспыхивающей звезды (вспышечной активности) представляет собой закономерную стадию эволюции красных карликовых звезд, обязательную для всех звезд этого класса.*

Относительно вышеприведенной формулы для оценки полного числа неизвестных в звездной системе вспыхивающих звезд, основанной на результатах предыдущих наблюдений, следует сделать следующее замечание, усиливающее полученное заключение.

Эта формула была получена при двух предположениях: о случайном распределении вспышек во времени для каждой вспыхивающей звезды и об одинаковой средней частоте вспышек всех вспыхивающих звезд данной системы.

Первое из этих предположений, как показывает подробное рассмотрение, можно считать вполне обоснованным [20]. Что касается второго предположения, то оно явно не соответствует действительности. В каждой системе имеет место большое разнообразие в значениях средних частот вспышек звезд, в зависимости от интенсивности вспышечной активности.

В этом реальном случае, когда средние частоты вспышек звезд самые разные, полученная формула соответствует нижнему пределу искомого полного числа вспыхивающих звезд в системе [20]. Обычно оно должно быть значительно больше.

В свете полученного выше результата о большом содержании вспыхивающих звезд в сравнительно молодой системе, скоплении Плеяды, гипотеза Аро [14, 15] об эволюционном статусе вспыхивающих звезд стала закономерностью.

Однако еще оставался вопрос о том, существуют ли и другие пути развития красных карликовых звезд.

Этот вопрос подробно был рассмотрен в работе [21]. В ней было показано, что в эволюции красных карликовых звезд стадии, представляемые звездами типа Т Тельца и вспыхивающими звездами, следуют друг за другом, и это единственный путь, не противоречащий наблюдениям.

Оба эти результата были настолько важными для эволюции красных карликов, что инициировали обширные фотографические наблюдения по поиску и исследованию вспыхивающих звезд в областях звездных скоплений и ассоциаций в обсерваториях Азиаго, Бюраканской и Тонантцинтла, а позже и Абастуманской, Будапештской и Рожен (Болгария), которые привели к обнаружению большого числа новых вспыхивающих звезд и показали их необычное обилие в этих системах.

В табл. 1 представлены соответствующие данные для трех, наиболее исследованных в этом отношении систем.

В табл. 1 после названия системы представлены: эффективное время фотографических наблюдений—T, число открытых вспыхивающих звезд—n и вспышек n', из них число вспыхивающих звезд, у которых были зарегистрированы по одной—n_1 и по две—n_2 вспышки, оценка

полного числа вспыхивающих звезд—N, среднее время открытия одной вспыхивающей звезды—t, расстояние системы—r и литературный источник приведенных данных.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД В ОБЛАСТЯХ НЕКОТОРЫХ БЛИЖАЙШИХ СИСТЕМ

Система	T (часы)	n	n'	n_1	n_2	N	t (часы)	r (парсек)	Литература
Плеяды	3200	546	1495	287	92	995	5.9	125	22
Орион	1600	491	654	380	76	1441	3.3	500	23
ТОТ	940	102	122	88	9	532	9.2	135	24

Примечание. ТОТ—Темные Облака Тельца.

При рассмотрении данных табл. 1 следует учесть, что представленные системы находятся на неодинаковых фазах изучения: время наблюдений для скопления Плеяды в два раза больше, чем для ассоциации Ориона, и более трех раз больше, чем для ассоциации в Темных Облаках Тельца.

А число открытых вспыхивающих звезд, так же, как и оценка их полного числа в системе, меняется по мере развертывания наблюдений.

Это хорошо видно из табл. 2, показывающей ход изменения этих данных по мере увеличения эффективного времени фотографических наблюдений в области скопления Плеяды (обозначения те же самые, что в табл. 1).

Таблица 2

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД В ОБЛАСТИ СКОПЛЕНИЯ ПЛЕЯДЫ ЗА 1968—1982 Г.Г.

Год	T (часы)	n	N
1968	512	155	337
1970	1178	260	467
1973	2260	448	826
1982	3175	546	994

С другой стороны, как показывают данные шестого столбца табл. 1, с увеличением времени наблюдений меняется и относительное число

повторных вспышек, зарегистрированных у уже известных вспыхивающих звезд.

Этого и следовало ожидать. В начальный период наблюдений, когда все вспыхивающие звезды в системе неизвестны, открытие каждой вспышки означает открытие вспыхивающей звезды. Со временем все чаще наблюдаются повторные вспышки у изевстных вспыхивающих звезд. Наконец, наступает период, когда зарегистрированные вспышки большей частью являются повторными.

Например, в 1980—82 гг. за почти 200 часов фотографических наблюдений области скопления Плеяды были зарегистрированы 53 вспышки и из них только 7 у новых вспыхивающих звезд [25].

Совершенно иное положение в случае области Темных Облаков Тельца, где почти каждая обнаруженная вспышка наблюдалась у новой вспыхивающей звезды, то есть означала открытие новой вспыхивающей звезды.

В этом отношении ассоциация Ориона занимает промежуточное положение.

Рассмотренный фактор наблюдательной селекции непосредственно сказывается на данных восьмого столбца табл. 1 о среднем времени открытия одной вспыхивающей звезды в данной системе. Однако не только одним этим объясняются различия в приведенных данных. Несомненно, что средняя частота вспышек в разных системах значительно отличается вследствие ряда причин, например возраста соответствующей системы.

Затем, следует признать, что представленные в табл. 1 данные, относящиеся к разным системам, непосредственно не сравнимы, так как эти системы расположены на разных расстояниях, имеют разные возрасты, содержат вспыхивающие звезды разного распределения, светимостей и т. д.

Наконец, данные табл. 1 неоднородны. Они были получены совместными усилиями наблюдателей разных обсерваторий, использующих разные телескопы, разные области спектра и разные экспозиции. Это определенным образом повлияло на полученные результаты.

Например, при фотографических наблюдениях на 1-м телескопе системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории (с экспозициями 5 мин для получения одного изображения звезды, в цепочке) одна вспышка регистрировалась за 1—2 часа [26]. Между тем, при использовании 53-см телескопа системы Шмидта (с экспозициями, обычно, 10 мин) одна вспышка в этой области регистрировалась, по крайней мере, в 2—3 раза реже, у доступных для наблюдения звезд. А вспышки звезд предельной яркости для 1-м телескопа, 53-см телескопом, естественно, не регистрировались.

Различна и средняя частота вспышек при использовании различных областей спектра.

Несмотря на влияние наблюдательной селекции в данных, представленных в табл. 1, несомненно имеется необычно высокое обилие вспыхивающих звезд в рассматриваемых системах. Эта особенность характерна и для других, менее изученных звездных систем.

Следовательно, наблюдаемое обилие вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях можно рассматривать как решающий факт, потверждающий эволюционный статус вспыхивающих звезд, представляющих закономерную стадию эволюции красных карликовых звезд.

Недавно было получено [27] новое, причем совершенно независимое свидетельство в пользу эволюционного статуса вспыхивающих звезд.

В 1980 г. Штауффер [28] исследовал 34 красные карликовые звезды скопления Плеяды, которые еще не достигли равновесного состояния. На диаграмме Герцшпрунга—Рессела эти звезды расположены дальше от главной последовательности (pre — main sequence stars). Этот факт дает основание предполагать, что указанные красные карлики находятся на стадии эволюции, предшествующей равновесным состояниям, соответствующим главной последовательности. С этой точки зрения было интересно обнаружить у них вспышечную активность.

При близком ознакомлении с этими звездами выяснилось [27], что большинство из них (27 из 34) входят в каталог Аро и др.[29] вспыхивающих звезд скопления Плеяды, причем 23 звезды наблюдались во вспышках по несколько раз.

С другой стороны, известно [19], что в этом скоплении все или почти все звезды низких светимостей являются вспыхивающими, причем около половины из них (табл. 1) еще не наблюдались во вспышках.

Эти факты дают основание заключить, что все звезды скопления Плеяды, исследованные Штауффером [28], обладают вспышечной активностью.

Отсюда следует, что все звезды списка Штауффера [28], которые на диаграмме Герцшпрунга-Рессела еще не достигли главной последовательности, оказались вспыхивающими вследствие того, что являются сравнительно молодыми образованиями, что подтверждает их эволюционный статус.

Следует добавить, что исследования вспыхивающих звезд в других звездных скоплениях и ассоциациях, выполненные Янковичем (Ясли [30]), Цветковым и Цветковой (Лебедь [31, 32]) и другими, находятся в полном согласии с этим заключением.

Заслуживает особого упоминания распространение фотографических наблюдений вспыхивающих звезд в областях звездных систем на южное небо, где имеются и довольно близкие. Первые результаты этих

наблюдений, начатых под руководством Зайттера [33], представляются многообещающими.

3. *Происхождение вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца.* В свете образования вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях существование звезд типа UV Кита окрестностей Солнца может иметь два возможных объяснения.

Согласно первому из них, предложенному Амбарцумяном [34], эти звезды образовались в системе, существующей до сих пор. Иначе говоря, звезды типа UV Кита окрестностей Солнца составляют в настоящее время физическую систему.

Второе объяснение, выдвинутое Хербигом [35], предполагает, что звезды типа UV Кита образовались в системах, ныне уже распавшихся и оказались в окрестностях Солнца случайно, после распада «материнских» систем, благодаря своим пространственным движениям.

Выбор между этими объяснениями можно сделать на основе пространственного распределения звезд типа UV Кита в окрестностях Солнца. При справедливости первого объяснения должно наблюдаться падение пространственной плотности этих звезд с удалением от Солнца, а при справедливости второго объяснения—почти равномерное их распределение, не зависящее от расстояния до Солнца.

Обоснование первого объяснения, исходящее из этого критерия, содержится в исследованиях Аракеляна [36] и Гарибджаняна [37]. В них показано, что допущение о равномерном распределении вспыхивающих звезд типа UV Кита в Галактике, в галактическом звездном поле, противоречит результатам массовых фотографических наблюдений разных участков неба с помощью широкоугольных телескопов. При равномерном распределении звезд типа UV Кита в пространстве, в любой области неба, согласно их исследованиям, было бы обнаружено значительно больше звезд, чем было обнаружено даже в областях звездных скоплений и ассоциаций, где имеет место концентрация вспыхивающих звезд. На этом основании авторы указанных работ [36, 37] пришли к заключению, что пространственная плотность вспыхивающих звезд типа UV Кита убывает с удалением от Солнца. Отсюда следует, что наблюдения подтверждают первое объяснение.

Однако это заключение трудно было согласовать с наблюдательными данными относительно параметров звезд типа UV Кита. В частности, оно находилось в противоречии с большим разнообразием возрастов и кинематических характеристик этих звезд [38, 39]. В связи с этим, заключение о том, что звезды типа UV Кита окрестностей Солнца составляют физическую систему, вызывало определенные сомнения.

Этот вопрос заново был рассмотрен недавно, с привлечением современных наблюдательных данных, причем был использован тот же метод.

Новое рассмотрение вопроса [40] не подтвердило существования системы звезд типа UV Кита вокруг Солнца. Как выяснилось, это заключение было получено вследствие переоценки в работах [36, 37] числа вспышек, ожидаемых при фотографических наблюдениях различных областей неба, производимых звездами типа UV Кита галактического звездного поля.

В работе Аракеляна [36], например, не была учтена зависимость относительной вспышечной активности звезды от ее светимости. В этой работе всем вспыхивающим звездам типа UV Кита, независимо от их светимости, была приписана относительная вспышечная активность, наблюдаемая у звезд 16—18 абсолютной звездной величины.

Между тем, фотоэлектрические наблюдения Моффетта [41] вспыхивающих звезд типа UV Кита, свидетельствуют, что существует обратная зависимость между средней частотой вспышек (относительной вспышечной активностью) и светимостью звезды [42]. Неучет влияния этого фактора в работе Аракеляна [36] и привел к сильной переоценке числа вспышек, ожидаемых от вспыхивающих звезд типа UV Кита, так как в этой оценке основную роль играют абсолютно более яркие звезды.

В конечном счете это и обусловило его заключение о падении пространственной плотности звезд типа UV Кита с удалением от Солнца.

При новом рассмотрении указанного вопроса было показано [40], что фотографические наблюдения вспыхивающих звезд широкоугольными телескопами, как в областях звездных скоплений и ассоциаций, так и в галактическом звездном поле, не противоречат представлению о том, что распределение звезд типа UV Кита практически остается постоянным с удалением от Солнца. Основываясь на этом результате, можно принимать, в согласии с объяснением Хербига [35], что звезды типа UV Кита окрестностей Солнца действительно представляют собой население общего звездного поля Галактики.

Этот новый результат можно рассматривать как важное свидетельство в пользу образования звезд типа UV Кита окрестностей Солнца, и вообще всех вспыхивающих звезд галактического поля, в звездных скоплениях и ассоциациях. Поэтому, следует считать, что в настоящее время они составляют звездное население галактического поля вследствие того, что их «материнские» системы уже распались. Иначе говоря, благодаря своим пространственным движениям в любом объеме галактического поля, имеются вспыхивающие звезды разных систем. Этим и обусловлено разнообразие параметров вспыхивающих звезд поля (светимость, возраст и т. д.).

Это представление о генезисе вспыхивающих звезд галактического поля вытекает из наблюдений и позволяет наметить путь эволюции красных карликовгх звезд.

4. *Вспыхивающие звезды в системах и окрестностях Солнца—единый класс вспыхивающих объектов.* Выше были рассмотрены наблюдательные данные, свидетельствующие об общности вспыхивающих звезд в скоплениях и ассоциациях и вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца. Это дает основание допустить, что все они составляют единый класс звезд, обладающих общей особенностью—вспышечной активностью [43].

Артументы в пользу физического сходства звезд типа UV Кита и вспыхивающих звезд, наблюдаемых в системах, были недавно подробно рассмотрены в работе Амбаряна и автора [42].

Они свидетельствуют, что многие параметры вспыхивающих звезд этих двух разновидностей практически мало отличаются, а серьезные различия, существующие между ними, можно успешно объяснить различиями в их возрасте, то есть эволюцией вспыхивающих звезд.

На серьезные различия, существующие между вспыхивающими звездами, открытыми Аро и сотрудниками [9-11] в звездных ассоциациях и звездами типа UV Кита окрестностей Солнца, впервые обратил внимание Хербит [44-45]. В тот период эти раличия казались принципиальными и предполагалось, что вспыхивающие звезды, наблюдаемые в звездных скоплениях и ассоциациях, представляют новый класс вспыхивающих объектов.

Однако, как выяснилось позже, все эти наблюдаемые различия имеют довольно простое объяснение.

Именно, различие светимостей вспыхивающих звезд в системах и галактическом звездном поле (окрестностях Солнца) является следствием различия темпов их эволюции, в зависимости от масс звезд (см. дальше). Вспыхивающие звезды более высоких светимостей (больших масс) прекращают вспышечную активность раньше и поэтому встречаются только в молодых системах. Вспыхивающие же звезды более низких светимостей (меньших масс) сохраняют вспышечную активность дольше и входят в состав старых систем и в галактическое звездное поле [42].

Что касается различия в отношении связи вспыхивающих звезд с диффузной материей, то оно также обусловлено различием возрастов соответствующих звезд. Дело в том, что тесная связь (сосуществование) с диффузной материей характерна лишь для молодых звезд. По мере старения звезды, в результате рассеяния диффузной материи, эта связь постепенно исчезает. Это наглядно видно при сравнении звездных систем разного возраста. Если в звездных ассоциациях вспыхивающие звезды всегда связаны с большими массами диффузной материи, то её значительно меньше в сравнительно старых звездных скоплениях и почти нет в галактическом поле, где имеется много вспыхивающих звезд.

Наконец, отмеченное Хербигом [44, 45] отсутствие эмиссионных линий в спектрах вспыхивающих звезд, входящих в состав звездных скоплений и ассоциаций, в отличие от звезд типа UV Кита окрестностей Солнца, в спектрах которых наблюдается много эмиссионных линий, как выяснилось, было следствием наблюдательной селекции. На щелевых спектрограммах вспыхивающих звезд физических систем эмиссионные линии всегда присутствуют.

На рис. 1 представлены две записи спектров вспыхивающих звезд, подтверждающие это заключение. Одна из них заимствована из каталога Петтерсена и Хаули [46] и принадлежит звезде типа UV Кита окрестностей Солнца CW UMa. Другая запись принадлежит вспыхивающей звезд FSP 394 скопления Плеяды [27]. Простое сравнение этих записей показывает их совпадение, по общему виду.

О практически полном совпадении спектров звезд типа UV Кита окрестностей Солнца и вспыхивающих звезд скопления Плеяды свидетельствуют и результаты их количественной обработки.

Оказывается, например, что зависимости спектральных индексов окиси титана—TiO от показателя цвета $R—I$ и от абсолютной величины, полученные Штауфером [28] и Петтерсеном и Хаули [46], соответственно, для звезд типа UV Кита, полностью совпадают с такими, определенными в работе [27], для вспыхивающих звезд скопления Плеяды.

Следовательно, результаты спектрального исследования вспыхивающих звезд скопления Плеяды можно рассматривать как дополнительный аргумент в пользу общей физической природы вспыхивающих звезд, наблюдаемых в составе звездных скоплений и ассоциаций, и звезд типа UV Кита окрестностей Солнца.

Эволюционные изменения вспыхивающих звезд четко прослеживаются и в изменениях их энергетических спектров. На это обстоятельство впервые обратил внимание Гершберг [47]. Он, в частности, показал, что между энергетическими спектрами и светимостями вспыхивающих звезд имеется определенная корреляция, которая в последующем была подтверждена Лейси и др. [48], для звезд типа UV Кита окрестностей Солнца, и Краснобабцевым и Гершбергом [49]—для вспыхивающих звезд ассоциации Ориона. Эта корреляция свидетельствует, что с увеличением светимости вспыхивающей звезды уменьшается вклад в её суммарное энерговыделение частых, но маломощных вспышек.

Вопрос об энергетических спектрах вспыхивающих звезд в окрестностях Солнца и в звездных системах был подробно исследован в работе Коротина и Краснобабцева [50]. Ими было показано, что энергетические спектры вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях являются продолжением энергетических спектров звезд типа UV

Кита окрестностей Солнца, в область больших энергий. При этом с возрастом системы вспыхивающих звезд энергетические спектры последних становятся все более пологими.

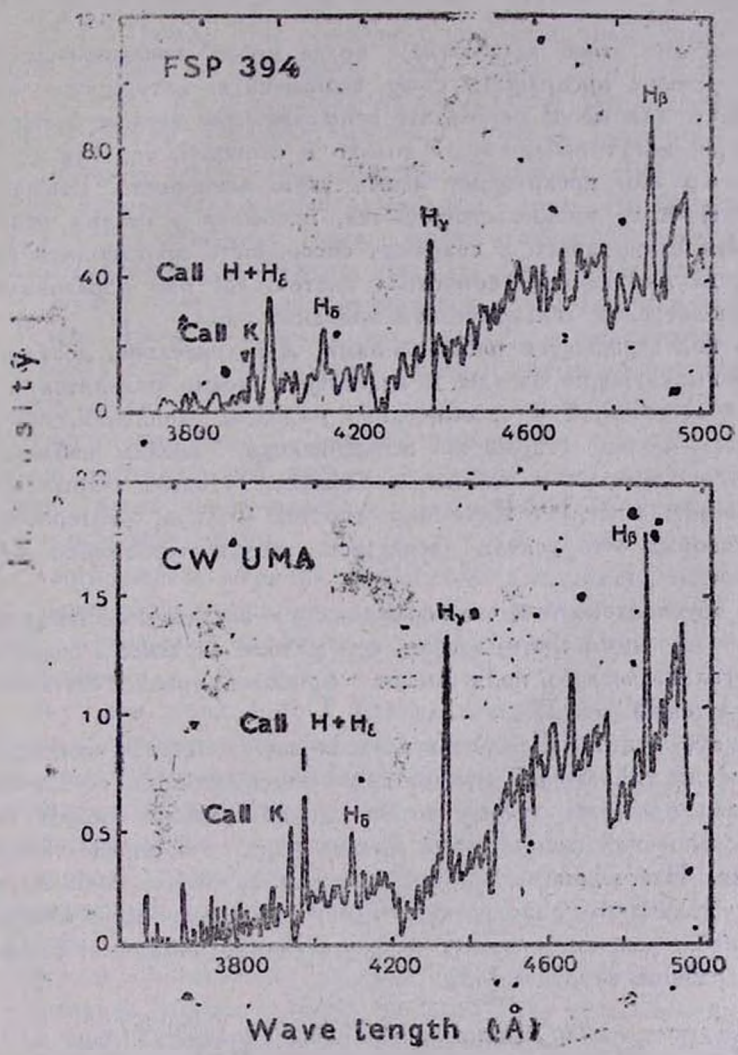

Рис. 1. Записи спектров вспыхивающих звезд FSP 394 скопления Плеяды и CW UMa, типа UV Кита окрестностей Солнца. По работам [27, 46].

Пространственное распределение вспыхивающих звезд в Галактике в свете их единства, с физической точки зрения, имеет следующее естественное объяснение.

Все вспыхивающие звезды образуются в системах. Однако продолжительность жизни звезды в стадии вспышечной активности или время пребывания в этой стадии зависит от ее массы (светимости): чем выше светимость, тем короче это время (см. раздел о темпах эволюции звезд).

Вследствие этого абсолютно более яркие вспыхивающие звезды должны раньше прекращать свою вспышечную активность, чем абсолютно более слабые. В результате вспыхивающие звезды более высоких светимостей могут наблюдаться только в системах, так как до распада этих систем они прекращают вспышечную активность. Вспыхивающие же звезды более низких светимостей, пребывая в стадии вспышечной активности очень долго и сохраняя способность производить вспышки, даже после распада «материнских» систем, где они образовались, могут наблюдаться в галактическом звездном поле.

Это подтверждается наблюдениями. Действительно, достаточно молодые вспыхивающие звезды в настоящее время находятся в составе звездных ассоциаций и сравнительно молодых скоплений, где они образовались. Более старые же вспыхивающие звезды наблюдаются в сравнительно старых и старых скоплениях. А очень старые вспыхивающие звезды типа UV Кита окрестностей Солнца, «материнские» системы которых уже успели распасться, почти равномерно заполняют галактическое поле.

Это обусловлено тем, что вспыхивающие звезды в системах обладают тем более высокими светимостями, чем моложе система, а вспыхивающие звезды галактического поля имеют наиболее низкие светимости (см. дальше, а также рис. 3).

Все это подтверждает, что вспыхивающие звезды, входящие в системы, и вспыхивающие звезды галактического поля составляют единый класс красных карликовых звезд, обладающих общей особенностью—вспышечной активностью, проявляющейся в определенной стадии эволюции. Наблюдаемые же между ними различия полностью объясняются различием их возрастов. Такие же различия, в меньшем масштабе, наблюдаются и между вспыхивающими звездами, входящими в системы разного возраста [42].

5. *Переход между стадиями эволюции типов T Тельца и UV Кита.* Физическое сходство между звездами типа T Тельца и вспыхивающими звездами типа UV Кита окрестностей Солнца*), наглядно проявив-

---

*) В пользу родственности звезд типов T Тельца и UV Кита сравнительно недавно Аро [51] нашел новое свидетельство. Он показал, что на щелевых спектрограммах некоторых вспыхивающих звезд скопления Плеяды наблюдается линия поглощения лития λ 6707, характерная для звезд типа T Тельца.

шееся во время вспышек последних [8], и сосуществование звезд этих двух классов в звездных ассоциациях [6-8] явились вескими свидетельствами в пользу их родственности и послужили основанием для выдвижения идеи об эволюционной связи между ними [14, 15].

Эта идея получила сильную поддержку благодаря открытию Аро и Чавира [52] и Розино [13] вспышек у некоторых звезд типа Т Тельца ассоциаций Ориона и Единорога (NGC 2264). Это примечательное открытие показало, что в ассоциациях существуют звезды, которые обладают одновременно особенностями звезд типов Т Тельца и UV Кита.

Существование звезд, показывающих активность типа Т Тельца и вспышечную одновременно, свидетельствует о том, что эволюционные стадии красных карликовых звезд, представляемые этими звездами, взаимно перекрываются во времени. Иначе говоря, звезда типа Т Тельца ступает в стадию вспышечной активности, не прекращая активность типа Т Тельца. Некоторое время она, наряду с изменениями, хаактерными для звезд типа Т Тельца, проявляет и вспышечную активность.

Это дает основание считать, что красные карликовые звезды после эволюционной стадии типа Т Тельца, прежде чем вступить в следующую стадию вспыхивающей звезды, в определенное время пребывают в состоянии когда они являются одновременно и звездами типа Т Тельца, и вспыхивающими.

Продолжительность периода, когда звезда проявляет обе эти активности, определяется относительным числом звезд типа Т Тельца, обладающих вспышечной активностью, среди всех звезд типа Т Тельца в данной системе.

Это число для звезд типа Т Тельца ассоциации Ориона, показавших вспышки с фотографической амплитудой больше одной звездной величины, было определено Амбарцумяном [21]. Было показано, что только четвертая часть этих звезд способна показать вспышки, доступные для фотографических наблюдений. Отсюда следует, что продолжительность периода, когда звезда является, одновременно, типа Т Тельца и вспыхивающей, равна одной четверти продолжительности стадии типа Т Тельца.

Приведенное определение является ориентировочным. Более поздние исследования, например Нацвлишвили [53], показывают, что относительное число звезд типа Т Тельца, обладающих вспышечной активностью, среди звезд типа Т Тельца ассоциации Ориона, возможно и других ассоциаций, может быть несколько больше. Однако для нашего рассмотрения существенно, что не все звезды типа Т Тельца обладают вспышечной активностью.

Можно поэтому констатировать, что звезды типа Т Тельца, обладающие одновременно вспышечной активностью, должны быть в сред-

нем более старыми, чем звезды, еще не вступившие в период перекрывания стадий активности типа Т Тельца и вспышечной.

В связи с тем, что красная карликовая звезда после стадии эволюции типа Т Тельца вступает в стадию вспыхивающей звезды*, то есть вспыхивающие звезды являются пост—Т Тельца звездами, трудно объяснять полное замалчивание этого принципиального результата в статье Хербига [54], посвященной поиску пост—Т Тельца звезд. Это тем более удивительно, что среди 8 звезд—кандидатов в пост—Т Тельца, представленных Хербигом, 5 либо обладают вспышечной активностью, либо являются эруптивными переменными [55]. Здесь речь идет о вспышках значительно более мощных, чем спокойное излучение звезды.

Поэтому работу Хербига [54] можно рассматривать как дополнительное свидетельство в пользу заключения о том, что вспыхивающие звезды представляют собой пост-Т Тельца стадию эволюции красных карликовых звезд.

6. *Наблюдаемая последовательность стадий эволюции красных карликовых звезд.* Установление статуса вспыхивающих звезд, как одной из стадий эволюции красных карликов, и генетическая связь этих звезд со звездами типа Т Тельца сделали возможным определить путь их развития.

Постепенный переход из стадии типа Т Тельца к стадии вспыхивающей звезды согласно Аро [56] представляется в следующей последовательности.

1. Звезды типа Т Тельца, у которых вспышки налагаются на характерные для них неправильные изменения яркости. Это звезды типа Т Тельца, обладающие вспышечной активностью.

2. Карликовые звезды поздних спектральных классов, в спектрах которых особенности, характерные для звезд типа Т Тельца, значительно ослаблены. Изменения яркости этих звезд, в основном, связаны со вспышками.

3. «Чисто» вспыхивающие звезды, у которых практически отсутствуют особенности звезд типа Т Тельца, по крайней мере период более или менее постоянного минимума блеска.

---

*) Для определения возможности такого перехода необходимо знание масс соответствующих звезд. К сожалению, массы звезд типа Т Тельца непосредственно не определены. Однако, судя по светимостям, такой переход вполне возможен для звезд достаточно низких светимостей. Для звезд более высоких светимостей этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании.

В эту последовательность не входят звезды типа Т Тельца, которые обладают вспышечной активностью. Однако, как показывает исследование вопроса Амбарцумяном [21], в ассоциации Ориона, например, около трех четвертей звезд типа Т Тельца, не способны производить фотографические вспышки с амплитудой около одной звездной величины или больше. Возможно, для звезд, способных производить вспышки, среди звезд типа Т Тельца в этой ассоциации несколько больше [53]. Но не подлежит сомнению, что существуют звезды типа Т Тельца, которые не обладают вспышечной активностью. Такие звезды типа Т Тельца в значительном количестве существуют и в других ассоциациях (см., например, [57]).

Существование звезд типа Т Тельца, не способных производить вспышки, свидетельствует о том, что последовательность стадий эволюции красных карликовых звезд на самом деле начинается со стадии «чистых» звезд типа Т Тельца, которые еще не приобрели способность производить вспышки.

Поэтому, последовательность основных стадий эволюции красных карликовых звезд следует представить следующим образом:

Звезды типа Т Тельца («чистые»)
Вспыхивающие звезды
Нормальные невспыхивающие звезды постоянного блеска.

В этой последовательности последняя стадия эволюции наступает уже после достижения звездой равновесного состояния, когда она на диаграмме Герцшпрунга—Рассела находится на главной последовательности.

Если первые две стадии соответствуют начальной эволюции звезды, то последняя стадия является стадией поздней ее эволюции.

В этой последней стадии физическая нестационарность, характерная для первых двух ранних стадий эволюции и играющая важную роль в этой эволюции, практически отсутствует, и эволюция звезды протекает под действием, по-видимому, термоядерных реакций [58], когда вся энергия, генерируемая звездой, уходит на ее спокойное излучение.

Время пребывания красной карликовой звезды в каждой из этих стадий эволюции зависит от ее массы (см. раздел о темпах эволюции). Чем больше масса (выше светимость) звезды, тем короче соответствующее время. Вследствие этого, например, можно допустить, что вспыхивающие звезды сравнительно высоких светимостей раньше кончают вспышечную активность, чем звезды более низких светимостей, и в результате со старением звездной системы в ней встречаются вспыхивающие звезды все более низких светимостей [42].

Для звезды же данной светимости время пребывания в этих стадиях сильно возрастает к более поздним стадиям.

Как было отмечено выше, красная карликовая звезда из наиболее ранней стадии эволюции, из стадии типа Т Тельца, переходит в стадию вспышечной активности не сразу, завершив активность типа Т Тельца. Некоторое, сравнительно медлительное время она проводит в состоянии, когда, оставаясь звездной типа Т Тельца, приобретает вспышечную активность.

Следует, наконец, добавить, что благодаря разнообразию масс (светимости) и, следовательно, темпов эволюции звезд, в звездных ассоциациях наблюдаются красные карликовые звезды, находящиеся на всех отмеченных выше стадиях эволюции.

7. *Состав вспыхивающих звезд в системах разного возраста.* Наблюдения показывают, что со старением системы, содержащей вспыхивающие звезды, в ней остаются лишь вспыхивающие более низких светимостей, причем растет доля вспыхивающих звезд среди всех красных карликов.

Эти изменения можно было бы предсказать, исходя из статуса вспыхивающих звезд и их эволюции со старением.

Для более подробного рассмотрения вопроса об изменениях доли вспыхивающих звезд среди всех красных карликовых звезд в системах разного возраста были выбраны следующие три выборки вспыхивающих звезд, которые наиболее представительны на сегодняшний день, с этой точки зрения: ассоциация Ориона, скопление Плеяды и звезды типа UV Кита окрестностей Солнца [59].

Все необходимые данные для определения относительного числа вспыхивающих звезд среди всех красных карликов в этих выборках для разных светимостей заимствованы из литературных источников.

В табл. 3 приведены результаты вычислений. В ней в последовательных столбцах представлены: интервал абсолютных фотографических величин M_{pg}, число всех красных карликов—N, из них вспыхивающих звезд—N_F (при вычислении этого значения учитывалось число потенциальных вспыхивающих звезд, по формуле Амбарцумяна [19]) и относительное число вспыхивающих звезд—N_F / N.

Рассмотрение табл. 3 позволяет допустить, в согласии с отмеченными в предыдущих разделах результатами изучения эволюции красных карликов, что относительное число вспыхивающих звезд среди последних, в какой—либо системе, возрастает при переходе к звездам более низких светимостей. При этом, в зависимости от возраста си-

стемы, вспыхивающие звезды в ней встречаются начиная с определенной светимости, которая уменьшается при переходе к более старым системам

Таблица 3

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД СРЕДИ КРАСНЫХ КАРЛИКОВ В АССОЦИАЦИИ ОРИОНА, СКОПЛЕНИИ ПЛЕЯДЫ И В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА [54]

M_{pg}	N			N_F			N_F/N		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
4.5—5.5	73	—	—	2	—	—	0.03	—	—
5.5—6.5	115	—	—	10	—	—	0.09	—	—
6.5—7.5	143	—	—	26	—	—	0.18	—	—
7.5—8.5	184	34	50	79	14	1	0.76	0.41	0.02
8.5—9.5	*	55	100	*	37	3	*	0.67	0.03
9.5—10.5	*	64	131	*	40	7	*	0.63	0.05
10.5—11.5	*	73	67	*	58	10	*	0.79	0.15
<11.5	*	*	113	*	*	47	*	*	0.42

Примечания: I—Орион, II—Плеяды, III—окрестности Солнца. Черточка означает отсутствие вспыхивающих звезд, а звездочка—отсутствие соответствующих данных.

Обе эти закономерности являются следствием того общепринятого представления, что темпы эволюции звезд зависят от их масс (светимостей), возрастая вместе с ними.

Что касается убывания относительного числа вспыхивающих звезд среди всех красных карликов, наблюдаемого для интервала светимостей $M_{pg}=7.5—8.5$ и намечаемого для более низких светимостей, то этот ход, по-видимому, нарушается для очень низких светимостей.

Дело в том, что в старых системах все красные карликовые звезды, как свидетельствуют данные табл. 3, должны быть вспыхивающими. Поэтому, в случае низких светимостей, начиная с определенного значения, относительное число вспыхивающих звезд среди всех красных карликов должно быть тождественно равным единице.

8. *Групповое происхождение вспыхивающих звезд.* О групповом происхождении красных карликовых звезд свидетельствует, прежде всего, большой процент двойных среди звезд типа UV Кита окрестностей Солнца. Согласно статистике [38], более половины известных

звезд этого типа входит в состав двойных или кратких систем. Сам прототип вспыхивающих звезд, звезда UV Кита, является двойной звездой.

С точки зрения рассматриваемого вопроса представляет интерес тот факт, отмеченный Родоно [60], что двойные системы среди вспыхивающих звезд встречаются чаще, чем среди других звезд. Иногда вспышечной активностью обладают оба компонента двойной системы.

Согласно Эвансу [61] среди ближайших вспыхивающих звезд процент двойных систем составляет около 85%.

Ярким свидетельством группового происхожения красных карликовых звезд является обилие систем типа Трапеции, состоящих из звезд типа Т Тельца и вспыхивающих.

Первые кратные звезды, содержащие звезды типа Т Тельца, были обнаружены Закировым [62]. В дальнейшем этим вопросом занимался Салуквадзе [63], который в Т-ассоциациях выделил большое число кратных звезд типа Трапеции.

С точки зрения эволюции красных карликовых звезд значительный интерес представляют исследования кратных звезд типа Трапеции, состоящих исключительно из звезд типа Т Тельца и вспыхивающих.

В ассоциации Ориона Амбарян [64] обнаружил кратные звезды типа Трапеции, которые состоят либо из звезд типа Т Тельца, либо из вспыхивающих, либо из их смеси. При этом в некоторых из этих кратных звезд были найдены признаки динамической неустойчивости.

Сравнением размеров этих кратных звезд, состоящих из звезд типа Т Тельца и, соответственно, и вспыхивающих звезд, Амбарян и А. Л. Мирзоян [65] показали, что первые из них значительно более компактные, чем вторые.

Этот результат иллюстрируется на рис. 2, где для большей статистики приведены гистограммы распределения взаимных расстояний компонентов, в проекции на картинную плоскость. Это находится в согласии с представлением о том, что кратные системы типа Трапеции динамически неустойчивы, вследствие чего в настоящее время они расширяются.

Приведенные наблюдательные факты являются новым подтверждением общепринятого представления о групповом образовании звезд вообще, и красных карликов в частности.

9. *Распределение вспыхивающих звезд в Галактике.* Итак, наблюдательные данные однозначно свидетельствуют, что вспыхивающие звезды в Галактике встречаются как в составе звездных систем—скоплений и ассоциаций, так и в общем звездном поле. Причем, имеется прямая зависимость между средней светимостью вспыхивающих звезд,

входящих в данную систему, и ее возрастом (рис. 3). Можно допустить, что эта зависимость является естественным следствием эволюции красных карликовых звезд со старением. В согласии с этим в галактическом звездном поле наблюдаются вспыхивающие звезды, в среднем, самых низких светимостей.

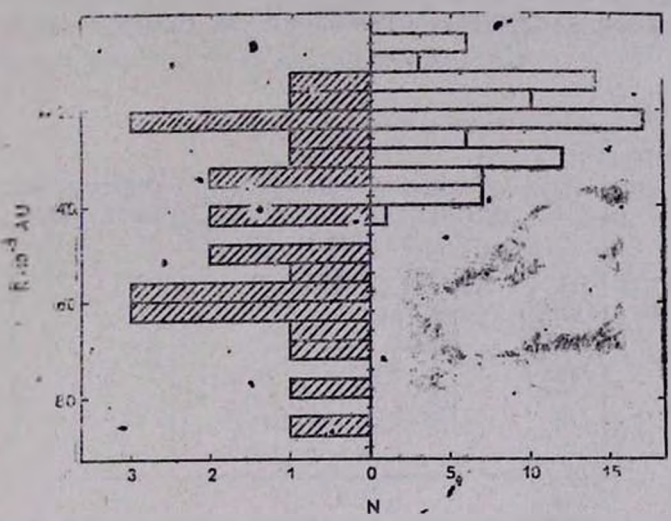

Рис. 2. Сравнение размеров кратных звезд типа Трапеции, состоящих из звезд типа Т Тольца (n =21)—справа и вспыхивающих (n=7)—слева. По работе Амбарцумяна и А. А. Мирзояна [65].

Именно эволюцией красных карликов, образовавшихся в ассоциациях и скоплениях, при зависимости темпов эволюции от масс (светимостей) звезд (см. дальше), можно объяснить их пространственное распределение в Галактике: наиболее молодые вспыхивающие звезды—в звездных ассоциациях, более старые—в сравнительно старых скоплениях, а очень старые вспыхивающие звезды типа UV Кита—в галактическом звездном поле.

Существование большого числа вспыхивающих звезд в галактическом поле приводит к тому, что среди вспыхивающих звезд, открываемых во время фотографических наблюдений в областях звездных скоплений и ассоциаций, определенную долю составляют вспыхивающие звезды этого поля. Оценка этой доли представляет практический интерес.

Необходимая для такой оценки функция светимости вспыхивающих звезд галактического поля была определена в работе [40] по данным каталога ближайших звезд Глизе и его дополнения [66, 67], в сфере

вокруг Солнца, где полноту наблюдательного материала можно считать обеспеченной [68].

Функция светимости вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца была определена [40] с помощью функции светимости эмиссионных красных карликовых звезд. Основанием для этого служило сходство этих двух классов звезд. Свидетельства в пользу этого допущения были рассмотрены ранее Швесткой [69] и Аракеляном [70].

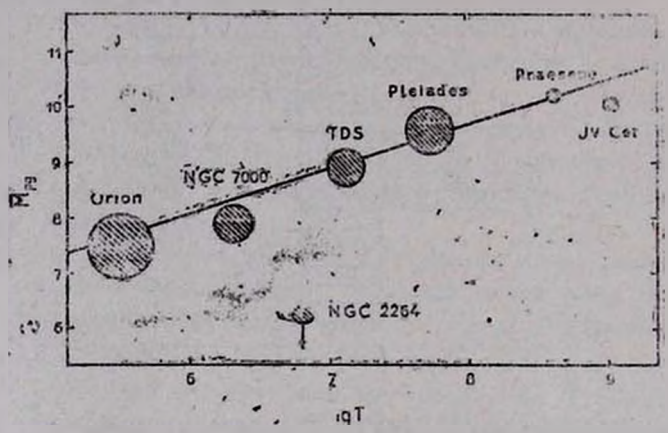

Рис. 3. Зависимость средней светимости вспыхивающих звезд от возраста системы, в состав которой они входят. M_{pg} — средняя абсолютная фотографическая величина, T—возраст системы, в годах, По работе Амбаряна и автора [42].

Как важное подтверждение этой точки зрения можно рассматривать табл. 4. Она была составлена по данным каталога ближайших звезд Глизе [66, 67] и содержит следующие данные: абсолютная визуальная звездная величина—M_V, число эмиссионных красных карликовых звезд соответствующих светимостей—N_e, среди них звезд типа UV Кита—N_{UV} и относительное число этих звезд—N_{UV}/N_e. Данные табл. 4 показывают, что среди красных карликов с эмиссионными линиями в спектрах сравнительно низких светимостей подавляющее большинство является известными вспыхивающими звездами типа UV Кита.

Полученная функция светимости вспыхивающих звезд типа UV Кита показала [40], что в поле 1-м телескопа системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории (около 4°×4°) доступны наблюдениям более 4 000 вспыхивающих звезд абсолютной звездной величины 9.5—15.5, в фотометрической полосе B. Предельная звездная ве-

личина, достигаемая этим телескопом, при экспозиции 5—10 минут равна около $17^m.5$. При этом только абсолютно самые яркие звезды (M_B = 9.5—10.5) могут быть обнаружены на расстояниях до 500 пк, при вспышках с амплитудой, равной $1^m.0$. Это предельное расстояние быстро убывает со светимостью вспыхивающих звезд. Например, для вспыхивающих звезд с M_B = 14.5—15.5 это расстояние составляет всего 50 пк, при вспышках той же амплитуды.

Таблица 4

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ЗВЕЗД ТИПА UV КИТА СРЕДИ ЭМИССИОННЫХ КРАСНЫХ КАРЛИКОВЫХ ЗВЕЗД В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА [40]

M_V	N_*	N_{UV}	N_{UV}/N_* (%)
<10.0	100	12	12
>10.0	70	49	70

Из-за ограниченных условий обнаружения, из более 4000 вспыхивающих звезд, находящихся в поле 1-м телескопа, лишь немногие могут быть обнаружены при фотографических наблюдениях этим телескопом, методом звездных цепочек.

Табл. 5, составленная с помощью функции светимости вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца [40], подтверждает это заключение. В ней приведены числа вспыхивающих звезд типа UV Кита соответствующих светимостей, в фотометрической полосе B, которые доступны наблюдению во время вспышек с амплитудой $0^m.5$ и $1^m.0$, этим телескопом.

Табл. 5 показывает, что из более чем 4000 вспыхивающих звезд галактического поля 1-м телескопом системы Шмидта, фотографическими наблюдениями, методом цепочек (в фотометрической полосе B), могут быть обнаружены всего 85, при вспышках с амплитудой, равной $0^m.5$, и 169 — с амплитудой $1^m.0$,

Число вспыхивающих звезд галактического поля, которые могут быть обнаружены при фотографических наблюдениях, естественно, должно расти с увеличением амплитуды вспышек. Однако, как показал анализ фотоэлектрических наблюдений вспышек звезд типа UV Кита окрестностей Солнца, выполненных Моффеттом [41], фотографи-

ческие вспышки больших амплитуд у этих звезд практически не наблюдаются [40].

Таблица 5

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ОБНАРУЖЕНЫ ПРИ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ 1-М ТЕЛЕСКОПОМ СИСТЕМЫ ШМИДТА БЮРАКАНСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕВРАТОРИИ, МЕТОДОМ ЦЕПОЧЕК [71]

M_B	Число вспыхивающих звезд	
	$0^m.5$	$1^m.0$
9.5--10.5	33	66
10.5–11.5	24	48
11.5–12.5	18	36
12.5–13.5	7	14
13.5–14.5	2	4
14.5–15.5	0.6	1.2
Всего	~85	~169

Данные табл. 5 можно использовать для оценки доли вспыхивающих звезд галактического поля среди вспыхивающих звезд, открываемых в областях звездных скоплений и ассоциаций, во время фотографических наблюдений.

Например, согласно этим данным, 1-м телескопом системы Шмидта в любой области неба, в том числе в областях, где нет звездных скоплений и ассоциаций, можно открывать до 170 вспыхивающих звезд галактического поля. Между тем, в области скопления Плеяды имеется не менее 1000 вспыхивающих звезд и из них уже обнаружено 546 (табл. 1). Отсюда следует, что доля вспыхивающих звезд, открываемых в этой области, меньше 20%. Если же учесть, что фотографическая вспышечная активность звезд поля в несколько раз ниже, чем у вспыхивающих звезд Плеяд [40], то эта доля должна быть значительно меньше, по крайней мере меньше 10%.

Эта доля должна быть еще меньше в области ассоциации Ориона, где полное число вспыхивающих звезд, доступных фотографическим наблюдениям методом цепочек, оценивается больше 2000 [53].

В общем случае доля вспыхивающих звезд поля среди вспыхивающих звезд, открываемых фотографическими наблюдениями, с помощью широкоугольных телескопов, зависит от полного числа вспыхивающих звезд в данной области неба. Это означает, что в тех областях, где

нет звездных скоплений и ассоциаций, эта доля, близко к единице, то есть почти все открываемые в этих областях вспыхивающие звезды принадлежат галактическому звездному полю.

Эти оценки полностью подтверждаются результатами фотографических наблюдений по поиску вспыхивающих звезд в областях галактического поля*. Такие наблюдения были выполнены в Бюракане 1-м телескопом системы Шмидта. За почти 200 часов наблюдений была обнаружена всего одна вспышка [73]. Между тем, во время аналогичных наблюдений области скопления Плеяды одна вспышка обнаруживалась за 1-2 часа [27].

Следовательно, средние пространственные плотности вспыхивающих звезд в звездном поле Галактики и в скоплении Плеяды, согласно этим оценкам, отличаются почти на три порядка.

Можно допустить, что это отношение не сильно отличается от отношения для более далеких систем.

Вспыхивающие звезды низких светимостей могут быть обнаружены только на небольших расстояниях. Вследствие этого вспыхивающие звезды низких светимостей, составляющие значительную часть звездных систем, остаются обычно не обнаруженными.

Поэтому данные о полном числе и средней пространственной плотности вспыхивающих звезд в системах, находящихся на разных расстояниях, не одинаково обоснованы. Это существенное ограничение, которое может привести к значительным ошибкам в определении их пространственной плотности. Попытаемся оценить отношение пространственных плотностей вспыхивающих звезд в окрестностях Солнца и в одной из ближайших систем—скоплении Плеяды.

В настоящее время в окрестностях Солнца, в сфере радиусом 20 пк, известно около 100 вспыхивающих звезд типа UV Кита [38]. Их средняя пространственная плотностью равна около 0.003 $пк^{-3}$.

В скоплении Плеяды в сфере радиусом 5 пк имеется порядка 1000 вспыхивающих звезд [74]. Их средняя пространственная плотность не менее 2 $пк^{-3}$.

Следовательно, средние пространственные плотности вспыхивающих звезд в звездном поле Галактики и в скоплении Плеяды, согласно этим оценкам, отличаются почти на три порядка.

Можно допустить, что это отношение не сильно отличается от этого значения, для более далеких систем.

---

*) Аро и Чавира [72], оценив другим методом вклад вспыхивающих звезд поля, в результате фотографических наблюдений области скопления Плеяды, заключили, что среди открываемых в ней вспыхивающих звезд не менее одной пятой части является звездами галактического поля. Однако позже Аро [7] высказал сомнение относительно этого результата.

10. *Полное число красных карликовых звезд в Галактике.* Известно, что красные карлики составляют основное звездное население Галактики. Имеющиеся в настоящее время наблюдательные данные о вспыхивающих звездах позволяют грубо оценить их полное число.

Прежде всего определим отношение вспыхивающих и невспыхивающих красных карликовых звезд, в Галактике. Для определения этого отношения для красных карликов в окрестностях Солнца, воспользуемся каталогом ближайших звезд с дополнением Глизе [66, 67] и каталогом звезд типа UV Кита окрестностей Солнца Н. И. Шаховской (см. [38]).

Табл. 6, основанная на данных этих каталогов, дает представление об этом отношении для звезд разных светимостей.

В соответствующих столбцах табл. 6 приведены: интервал абсолютных фотографических величин—M_{pg}, число красных карликов спектральных классов К и М—N_G, среди них вспыхивающих звезд типа UV Кита—N_{UV} и относительное число вспыхивающих звезд—N_{UV}/N_G.

Табл. 6 естественно начинается с тех светимостей, которые встречаются у звезд типа UV Кита. Для абсолютно более ярких звезд это отношение равно нулю, но число этих звезд небольшое и не может существенно повлиять на дальнейшие расчеты.

Таблица 6

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ЗВЕЗД ТИПА UV КИТА СРЕДИ БЛИЖАЙШИХ КРАСНЫХ КАРЛИКОВЫХ ЗВЕЗД СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ К И М [59]

M_{pg}	N_G	N_{UV}	N_{UV}/N_G
7.5—8.5	50	1	0.02
8.5—9.5	100	3	0.03
9.5—10.5	131	7	0.05
10.5—11.5	67	10	0.10
>11.5	113	47	0.42
Всего	461	68	0.15

Данные табл. 6 показывают, что относительное число вспыхивающих звезд среди красных карликов спектральных классов К и М регулярно растет с убыванием светимостей звезд. Это относительное число для всех звезд—красных карликов равно 0.15, то есть 15% всех К—М карликов окрестностей Солнца, исключая звезды абсолютно ярче $M_{pg}=7.5$, составляют звезды типа UV Кита.

Так как звезды типа UV Кита, в силу вышеприведенных свидетельств, могут быть рассмотрены как население галактического звездного поля, то отношение полных чисел вспыхивающих и всех карликовых звезд, полученное для звезд окрестностей Солнца, можно считать приемлемым и для общего звездного поля Галактики.

Исходя из пространственной плотности звезд типа UV Кита в окрестностях Солнца 0.003 $пк^{-3}$ и распространяя её на галактическое звездное поле, для полного числа вспыхивающих звезд типа UV Кита в Галактике получим 5×10^8. Очевидно, что это нижний предел искомого числа. Действительное число вспыхивающих звезд, с учетом их функции светимости, в галактическом поле должно быть на порядок больше—около 5×10^9.

Для получения оценки полного числа невспыхивающих красных карликовых звезд воспользуемся вышеприведенным отношением вспыхивающих и невспыхивающих красных карликов. Это отношение было получено только для красных карликов спектральных классов K и M. Учет красных карликов спектральных классов F и G увеличит их полное число примерно в два раза.

В результате, полное число всех красных карликовых звезд в Галактике должно быть не менее 5×10^{10}, по порядку величины, что близко к полному числу всех звезд в этой системе.

Несмотря на довольно произвольные предположения при получении этой оценки, она дает правильную цифру и согласуется с оценкой Оорта [75].

11. *Диаграмма Герцшпрунга—Рессела вспыхивающих звезд.* В настоящее время не вызывает сомнения, что наиболее длительный период своей жизни звезды проводят в равновесных состояниях, представляемых главной последовательностью, на диаграмме Герцшпрунга—Рессела.

Что касается звезд, не достигших равновесных состояний, то они на этой диаграмме, как показывают наблюдения, расположены около главной последовательности, выше и ниже её.

Для орионовых переменных звезд, в подавляющем большинстве случаев оказавшихся звездами типа T Тельца, первую такую диаграмму построил Паденаго [76] еще в 1954 г. На этой диаграмме эти звезды заполняют полосу вокруг главной последовательности.

Диаграмму Герцшпрунга—Рессела для вспыхивающих звезд, входящих в звездные скопления и ассоциации, исследовали Аро и Чавира [52]. Они показали, что на диаграммах, построенных для звездных систем разного возраста, вспыхивающие звезды находятся в полосе, охватывающей главную последоательность с обеих сторон. При этом ширина этой полосы, то есть разброс точек относительно главной последовательности, для всех систем растет в сторону звезд поздних

спектральных классов, следовательно низких светимостей. Что касается начала указанной полосы, соответствующего самой яркой и самого раннего спектрального класса вспыхивающей звезде в системе, то оно перемещается в сторону звезд низких светимостей и поздних спектральных классов, при переходе к более старым системам.

Первая диаграмма Герцшпрунга—Рессела для вспыхивающих звезд ассоциации Ориона была построена Эндрюсом [77], на основе фотографической фотометрии этих звезд.

Позже аналогичные диаграммы были построены для вспыхивающих звезд скопления Плеяды Чавушяном и Гарибджаняном [78] и Парсамян и Оганян [79], ассоциации Ориона—Нацвлишвили [23], ассоциации Темных Облаков Тельца—Ходжаевым [27] и т. д. Все они, за исключением работы [79], основываются на фотографической фотометрии вспыхивающих звезд. Только в последней работе были использованы спектральные классы звезд, определенные из наблюдений спектров с объективной призмой. Все построенные диатраммы подтверждают результаты Аро и Чавира [52]. С точки зрения эволюции красных карликов определенный интерес представляет диаграмма красных карликовых звезд ассоциации Ориона, построенная Нацвлишвили [53]. На ней разброс точек относительно главной последовательности, в среднем, растет при переходе от вспыхивающих звезд к звездам типа Т Тельца, а звезды типа Т Тельца, обладающие вспышечной активностью в этом отношении занимают промежуточное положение. Этого и следовало ожидать, исходя из эволюционной последовательности: звезды типа Т Тельца («чистые»)—звезды типа Т Тельца, обладающие вспышечной активностью—вспыхивающие звезды.

Необходимо подчеркнуть, что наблюдениями было установлено существование молодых звезд, расположенных на диаграмме Герцшпрунга—Рессела ниже главной последовательности. Это серьезное, возможно непреодолимое затруднение, как впервые отметили Аро и Чавира [52], для современных теорий эволюции звезд, исходящих из гипотезы гравитационной конденсации диффузной материи в звезды. Дело в том, что в них все треки молодых звезд до достижения главной последовательности проходят выше неё.

Сравнительно недавно этот вопрос еще раз был обсужден Аро [80], который пришел к выводу о реальности существования молодых звезд, расположенных ниже главной последовательности.

Попытки объяснения этого явления влиянием различных факторов, переместивших молодые звезды из «реальных» их положений на положения выше гавной последовательности, трудно считать вполне обоснованными [39].

А недавнее объяснение Гётца [81] нахождения звезд типа Т Тельца ниже главной последовательности влиянием диффузной материи, связанной с ними генетически, не может быть принято в случае вспыхивающих звезд, которые лишены этой материи.

12. *О темпах эволюции звезд.* Наблюдения вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях разного возраста, а также в общем галактическом поле, привели к многочисленным свидетельствам в пользу общепринятого представления о прямой зависимости темпов эволюции звезд от их масс (светимостей).

Приведем некоторые итоги этих наблюдений.

1. Еще в начальный период исследования вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях Аро и Чавира [52] показали, что в каждой звездной системе наблюдается определенная граница светимости (массы), которая разделяет вспыхивающие звезды от невспыхивающих. Все звезды системы ярче этого граничного значения являются не вспыхивающими, слабее—вспыхивающими. Рассмотрение вспыхивающих звезд галактического поля подтвердило эту закономерность.

2. Продолжительность жизни вспыхивающей звезды, или время её пребывания в стадии вспышечной активности, растет с уменьшением её светимости. Например, в одной из наиболее молодых систем вспыхивающих звезд, в ассоциации Ориона, возраст которой порядка 10^8 лет, наблюдается много ярких невспыхивающих красных карликовых звезд. Очевидно, что они уже завершили стадию вспышечной активности*. Следовательно, для них стадия вспыхивающей звезды продолжалась не более чем 10^6 лет. Между тем, в более старых системах типа скоплений Плеяды или Гиады существует много вспыхивающих звезд, для которых стадия вспышечной активности еще продолжается. Это означает, что для них продолжительность пребывания в этой стадии больше возраста соответствующих систем и составляет десятки и сотни миллионов лет, соответственно. Еще больше время пребывания в стадии вспышечной активности для вспыхивающих звезд галактического поля. По расчетам Кункеля [82] для звезды с визуальной абсолютной величиной $M = 15$ и слабее продолжительность этой стадии сравнима с возрастом самой Галактики, порядка миллиардов лет.

3. Прямым следствием возрастания продолжительности стадии вспышечной активности красной карликовой звезды при переходе к звез-

---

*) Предполагать, что у них эволюционной стадии вспышечной активности не было мало вероятно, так как уже упомянутые работы, прежде всего Аро [7] и Амбарцумяна (см., например, [1]) свидетельствуют, что эта стадия—закономерная эволюционная стадия, через которую проходят все красные карликовые звезды.

дам более низких светимостей является зависимость средней светимости вспыхивающих систем от возраста соответствующих систем (рис. 3).

Можно привести и другие соотношения, основанные на наблюдениях вспыхивающих звезд и свидетельствующие в пользу рассматриваемого представления. Все они, вместе с указанными, показывают, что темпы эволюции звезд, действительно, прямо зависят от масс (светимостей) звезд.

13. *Звездные и солнечные вспышки.* В последнее время среди специалистов, в особенности теоретиков, очень распространено мнение, что звездные вспышки имеют по физической природе полное сходство с солнечными.

Однако это мнение не вполне обосновано.

Дело в том, что весь комплекс наблюдательных данных о вспыхивающих звездах показывает, что вспышки у красных карликовых звезд начинаются в ранних стадиях эволюции, а сама вспышечная активность в этот период является наиболее выдающейся особенностью звезды. Иначе говоря, эта активность характеризует определенную стадию эволюции звезды. Следовательно, следует допустить, что появляющаяся в этой стадии способность производить время от времени вспышки является внутренней особенностью звезды.

С этой точки зрения попытки отождествлять звездные вспышки с солнечными представляются не правомерными. Действительно, вспыхивающие звезды, как видно из нашего изложения, находятся на одной из ранних стадий эволюции красных карликов. Их вспышечная активность в этой стадии эволюции приводит к изменениям мощности и состава излучения, существенно меняющих в периоды вспышек спокойное излучение звезды. Между тем, Солнце давно завершило эту стадию эволюции, находится в равновесном состоянии, а вспышки не оказывают заметного влияния на его спокойное излучение.

Следовательно, различие между вспыхивающими звездами и Солнцем имеет глубокий, эволюционный характер, и трудно считать обоснованным допущение, что это различие не сказывается качественно на природе вспышек: звездных и солнечных.

В этой связи уместно отметить, что еще в 1982 г. на коллоквиуме МАС, посвященном активности красных карликовых звезд, в Катании (Италия), были высказаны некоторые сомнения относительно правомерности отождествления звездных и солнечных вспышек. Например, Лински [83] по этому поводу отмечал, что «в этом подходе, однако, имеется опасность, так как аналогия с Солнцем может оказаться плохим гидом для объяснения явлений на звездах, которые имеют параметры, сильно отличающиеся от параметров Солнца». А Симнетт [84], заключая, что для красных карликовых звезд «механизм вспышек мо-

жет быть весьма отличным», чем в случае солнечных вспышек, считал, что «переход от солнечных вспышек к вспышкам красных карликов может быть неуместным в худшем случае, трудным—в лучшем случае».

О серьезных различиях между звездными и солнечными вспышками свидетельствует и недавнее исследование Ланга [85]. На основе обсуждения наблюдений радиовспышек на звездах и на Солнце им был получен вывод о том, что вспышки на красных карликовых звездах резко отличаются от солнечных вспышек по своей физической природе.

Таким образом, можно констатировать, что звездные вспышки отличаются от солнечных не только по масштабам, но и по физической природе. Здесь речь идет о вспышках, энергии которых значительно превышают энергию спокойного излучения красной карликовой звезды, за тот же период, характеризующих эволюционную стадию, через котоую Солнце уже прошло.

Можно полагать, что изучение разнообразных проявлений звездных вспышек в звездных скоплениях и ассоциациях, которые гораздо мощнее не только солнечных, но и вспышек звезд типа UV Кита, представляет более благоприятную возможность для решения вопроса о физической природе звездных вспышек.

Не исключена возможность того, что полное понимание природы солнечных вспышек будет достигнуто только после вскрытия природы звездных вспышек. В связи с этим интересно отметить, что наблюдения дают основание допустить, что вспышечная активность звезд, подобно солнечной, имеет циклический характер [86].

14. *Вспыхивающие звезды и природа дозвездной материи.* Исследование вспыхивающих звезд может оказаться важным и для вскрытия природы дозвездной материи. Рассмотрим некоторые результаты исследования звездных вспышек, которые представляют определенный интерес с этой точки зрения.

Следуя Амбарцумяну [8], будем считать, что внутри красных карликов возможно еще сохранились сгустки дозвездной материи, из которой они образовались. Допустим далее, что эта материя сверхплотная, имеющая значительные запасы внутренней энергии (см., например, [87]). В этом случае выход сгустков этой дозвездной материи—носителей внутризвездной энергии в поверхностные слои звезды и освобождение там этой энергии могут привести к различным наблюдаемым изменениям излучения звезды, в зависимости от глубины слоев звезды, где осовобождается внутризвездная энергия.

В частности, вспышки могут происходить только в тех случаях, когда освобождение энергии происходит в атмосфере звезды или выше нее. В этом случае, в зависимости от глубины слоев, должны наблю-

даться различия во времени возгорания вспышки, в цвете вспышечного излучения и средней частоте соответствующих вспышек.

Например, время возгорания вспышки может принимать разные значения, то есть должно меняться непрерывным образом, при достаточной статистике. Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд типа UV Кита подтверждают это. Причем, как и следвало ожидать, при справедливости сделанного допущения, время возгорания для подавляющего большинства вспышек весьма небольшое: порядка нескольких секунд. Освобождение внутризвездной энергии в этих случаях происходит во внешних слоях хромосферы или еще выше, над этими слоями. Чем глубже слои, где освобождается энергия, тем больше должно быть время возгорания вспышки.

С глубиной соответствующих слоев должна уменьшаться и средняя частота таких вспышек. Дело в том, что при спонтанном характере освобождения внутризвездной энергии, вероятность того, что на данном отрезке пути носителя энергии произойдет вспышка, пропорциональна длине этого отрезка, которая резко убывает с глубиной слоев. Очевидно, что при достаточно большой глубине слоев, где освобождается внутризвездная энергия, вовсе не могут произойти вспышки.

Важным подтверждением этого представления явилось открытие Аро [56]. Разделив все наблюденные фотографические вспышки на две группы по времени возгорания, «быстрые» и «медленные», он показал, что различия между их параметрами (время возгорания, средняя частота, цвет вспышечного излучения) находится в полном согласии с ожидаемыми для вспышек, имевших место на разных глубинах атмосферы звезды, по указанному сценарию.

Правда, с самого начала Аро [88] предполагал, что «быстрая» или «медленная» природа вспышек зависит от параметров звезды, на которой происходят вспышки. Однако после того, как на звездах, показавших «медленные» вспышки, были наблюдены и «быстрые» вспышки [39], выяснилось, что это предположение не вполне соответствует действительности. На самом деле время возгорания вспышки зависит, главным образом, от глубины слоев атмосферы звезды, где происходит вспышка. Наглядным подтверждением является фотографическое наблюдение сложной вспышки на вспыхивающей звезде № 73 в ассоциации Ориона, представляющей собой комбинацию двух кривых вспышек: «быстрой» и «медленной», происшедших одна за другой [43].

Вместе с этим, наблюдения звездных вспышек в системах разного возраста показывают, что относительное число «медленных» вспышек среди всех вспышек зарегистрированных в каждой из них, неодинаковое. «Медленные» вспышки чаще наблюдаются, по-видимому, в более

молодых системах, то есть у вспыхивающих звезд более высоких светимостей (табл. 7).

С этим заключением согласуется и тот наблюдательный факт, что у вспыхивающих звезд типа UV Кита существует прямая зависимость между временем возгорания вспышки и светимостью (рис. 4).

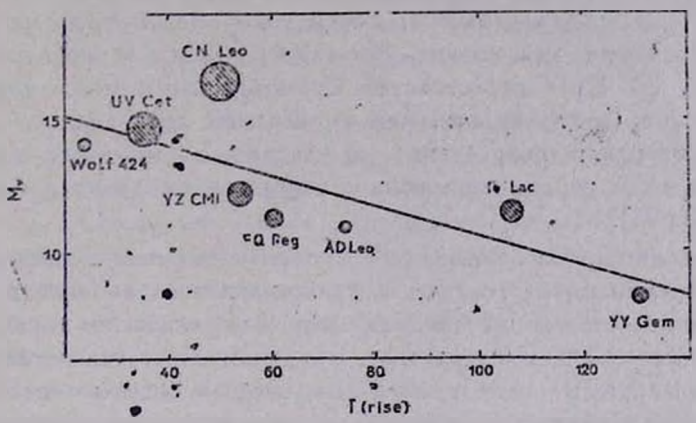

Рис. 4. Зависимость времени возгорания вспышки от светимости звезды для звезд типа UV Кита окрестностей Солнца, построенная по данным фотоэлектрических наблюдений Моффетта [41]

Таблица 7

ДОЛЯ „МЕДЛЕННЫХ" ВСПЫШЕК СРЕДИ ВСЕХ ВСПЫШЕК, НАБЛЮДЕННЫХ В ВЫБОРКАХ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД РАЗНОГО ВОЗРАСТА [89]

Выборка	Число наблюденных вспышек	Из них с $t \geq 10$ мин.	Относительное число „медленных" вспышек (%)
Орион	455	23	5.1
Плеяды	1273	21	1.6
UV Кита	275	2	0.7

Примечание. t—время возгорания вспышки.

Результаты наблюдений звездных вспышек с различной продолжительностью периода возгорания, в частности «быстрых» и «медленных» по классификации Аро [88] находятся в полном согласии с представлением о том, что наблюдаемые между ними различия являются следствием того, что эти вспышки происходят на разных глубинах атмосферы звезд:

Следует отметить, что наиболее трудной задачей, с наблюдательной точки зрения, явилось выявление изменений цветов вспышечного излучения, с измененнем времени возгорания вспышек. Тем не менее, эта задача была успешно решена. Сначала Аро [56] удалось наблюдать спектры «быстрой» и «медленной» вспышек с помощью объективной призмы и показать значительное усиление красного континуума во время «медленной» вспышки. Затем колориметрические наблюдения звездных вспышек, как точных фотоэлектрических (в случае вспышек звезд типа UV Кита окрестностей Солнца), так и менее точных фотографических (в случае вспышек в звездных скоплениях и ассоциациях) подтвердили покраснение, в среднем, вспышечного излучения, возникающего в период вспышек, с возрастанием времени возгорания вспышек [89-91].

Совпадение наблюдаемых особенностей звездных вспышек с различными временами возгорания с предсказанными на основе вышеизложенного представления, кажется дает нам основание предполагать, что звездные вспышки происходят, на самом деле, вследствие выхода из недр в наружные слои красной карликовой звезды гипотетических носителей внутризвездной энергии, в виде сгустков сверхплотной довездной материи и освобождения этой энергии на различных глубинах их атмосфер.

15. *Заключение.* Установление эволюционного статуса вспыхивающих звезд имело решающее значение для исследования многих вопросов эволюции и физики красных карликовых звезд.

В свете этого открытия по-новому были рассмотрены вопросы, относящиеся прежде всего к эволюции этих звезд. В частности, оказалось возможным определить путь эволюции красных карликов на основе исключительно наблюдательных данных.

Данные, полученные с помощью исследования вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях, позволили по-новому поставить и решать вопросы, относящиеся к существованию звезд типа UV Кита в окрестностях Солнца, и вообще распределению красных карликовых звезд в Галактике.

На основе наблюдательных данных удалось показать, что все вспыхивающие звезды, как в звездных скоплениях и ассоциациях, так и в галактическом поле, составляют единый класс объектов, обладающих общей особенностью—вспышечной активностью.

Соотношения между параметрами вспыхивающих звезд, полученные из исследования этих звезд в физических системах, предоставили свидетельства в пользу общепринятого представления о зависимости темпов эволюции звезд от их масс (светимостей).

Рассмотрение распределения вспыхивающих звезд среди всех красных карликов в звездных системах разного возраста и для различных светимостей, показало, что доля вспыхивающих звезд среди всех карликов в каждой системе растет к звездам более низких светимостей, а средняя светимость вспыхивающих звезд убывает со старением системы.

Были получены свидетельства в пользу группового происхождения красных карликовых звезд, а также динамической неустойчивости кратных систем типа Трапеции, состоящих из звезд типа Т Тельца и вспыхивающих исключительно.

Имеются довольно обоснованные аргументы против отождествления звездных вспышек с солнечными, по физической природе.

Наконец, различия средней частоты вспышек, цвета вспышечного излучения и времени возгорания для разных вспышек, например «быстрых» и «медленных», объясняются с помощью представления о том, что соответствующие вспышки происходят на различных глубинах атмосферы звезды. Совпадение параметров вспышек с ожидаемыми, согласно этому представлению, можно рассматривать как свидетельство в пользу гипотезы сверхплотных протозвезд.

Принципиальные результаты, изложенные в настоящей статье, показывают необходимость дальнейших наблюдений вспыхивающих звезд более совершенными методами и по возможности синхронно в разных областях спектра, для решения многих, еще нерешенных вопросов физики и эволюции звезд, в частности природы звездной активности.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

FLARE STARS AND EVOLUTION OF RED DWARF STARS

L. V. MIRZOYAN

The results of the evolutionary study of red dwarf stars are discussed, in the light of the investigations, carried out mainly in the Byurakan and Tonantzintla (Mexico) observatories. A special attention is paid to flare stars, representing one of the early stages of their evolution. Some of the mention results are at present debatable.

ЛИТЕРАТУРА

1. *V. A. Amaartsumian, L. V. Mirzoyan*, in „New Directions and New Frontiers In Variable Star Research". IAU Colloquium No. 15, Veroff, Bamberg Obs., 9, Nr. 100, 98, 1971.
2. *V. A. Ambartsumian. L. V. Mirzoyan*, in „Variable Stars and Stellar Evolution", IAU Symp. No 67, eds. V. Sherwood, L. Plaut, Reidel, Dordrecht, 1975, p. 3.

3. *L. V. Mirzoyan.* in „Flare Stars in Star Clusters, Associations and Solar Vicinity", IAU Sump. No 137, eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 1.
4. *L. V. Mirzoyan,* Vistas in Astronomy, 27, 77, 1984.
5. *В. А. Амбарцумян,* Научные труды. ред. В. В. Соболев, т. 2, 1959; т. 3, 1989 Изд-во АН Армении, Ереван.
6. *В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян,* Astrophys. Sp. Sci., 84, 317, 1982.
7. *G. Haro,* Bol. Inst. Tonantzintla, 2, 3, 1975.
8. *В. А. Амбарцумян,* Сообщ. Бюракан. обс., 13, 1954.
9. *G. Haro, W. Morgan,* Astrophys. J., 118, 16, 1953.
10. *G Haro, L. R. Terrazas,* Bol, Obs. Tonantzitla, No 10, 3, 1954.
11. *G. Haro,* Bol. Obs. Tonantzintla, No, 11, 11, 1954.
12. *R. Rosino,* Contr. Asiago Obs., No. 69, 1956.
13. *R. Rosino.* in „Luminosity Stars", S. S. Kumar eds. Gordon and Breach Science Publishers, New-York-London-Paris, 1969, p. 181.
14. *G. Haro,* in „Non-Stable Stars", IAU Symp. No. 3, ed G. H. Herbig, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1957, p. 25.
15. *G. Haro,* in „Symposium on Stellar Evolution" ed. J. Sahade, Astron., Observ. Nat. Univ. La Platta, 1962. p. 37.
16. *H. L. Johnson, R. I. Mitchell,* Astrophys. J., 128, 31, 1958.
17. *К. Аллен,* Астрофизические величины, Мир, М., 1977.
18. *A. Sandage,* Astrophys J., 125, 435, 1957.
19. *В. А. Амбарцумян,* в кн.: „Звезды, туманности, галактики", Изд-во АН Армении, Ереван, 1969, стр. 283.
20. *В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Э. С. Парсамян, О. С. Чавушян. Л. К. Ерастова,* Астрофизика, 6, 3, 1970.
21. *В. А. Амбарцумян,* Астрофизика, 6, 31, 1970.
22. *Л. В. Мирзоян, Г. Б. Оганян,* Вспыхивающие звезды и родственные объекты, ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, Ереван, 1986, стр. 68.
23. *R. Sh. Natsvlishvili,* in „Flare Stars in Star Clusters, Associations, and Solar Vicinity", eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov, IAU Symp. No. 137, Kluwer Acad. Publish., Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 101.
24. *А. С. Ходжаев,* Нестационарные звезды в области Темных Облаков Тольца, Канд. диссертация. Бюраканская астрофизическая обсерватория, 1985.
25. *В. В. Амбарян,* в кн., „Вспыхивающие звезды и родственные объекты". ред. Л. В. Мирзоян. Изд-во АН Армении, Ереван, 1985, стр. 120.
26. *Л. В. Мирзоян, О. С. Чавушян,* Сообщ. Бюракан. обс., 42, 17, 1971.
27. *Л. В, Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян,* Астрофизика, 33, 5, 1990,
28. *J. R. Stauffer,* Astron. J., 85, 1341, 1980.
29. *G. Haro, E. Chavira, G. Gonzalez,* Bol. Inst. Tonantzintla, 3, No. 1, 1982.
30. *И. Янкович,* Вспыхивающая активность красных карликовых звезд в области открытого скопления Ясли, Канд-диссертация, Ереванский университет, 1975.
31. *М. К. Цветков,* Исследование нестационарных звезд в области туманностей NGC 7000 и IC 5068—70 в созвездии Лебедя, Канд. диссертация, Ереванский университет, 1976.
32. *M. K. Tsvetkov, K. Tsvetkova,* in „Flare Stars in Star Clusters, Associations and Solar Vicinity", eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov IAU Symp. No 137, Kluwer Acad. Publish., Dordrecht-Boston-London, 1990. p.
33. *R. Antol, H. W. Duerbeck, W. C. Seitter, M. K. Tsvetkov,* ibid, p. 85,

34. *В. А. Амбарцумян*, в кн. „Нестационарные звезды", ред. М. А. Аракелян, изд-во АН Армении, 1957, стр. 9.
35. *G. H. Herbig*. in „Symposium, on Stellar Evolution", ed. J. Sahade, Astronl Obs. Nat. Univ. La Platta, 1962, p. 45.
36. *M. A. Arakelian*, in „Non-Periodic Phenomena in Variable Stars", ed. L. Detre, IAU Colloquium No. 4, Acad. Press, Budapest. 1969, p. 161.
37. *А. Т. Гарибджанян*, Сообщ. Бюракан. обс., 49, 63, 1976.
38. *Р. Е. Гершберг*, Вспыхивающие звезды малых масс, Наука, М., 1978.
39. *Л. В. Мирзоян*, Нестационарность и эволюция звезд, Из-во АН Армении, Ереван, 1981.
40. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян, А. Л. Мирзоян*, Астрофизика, 29, 44, 1988.
41. *T. J. Moffett*, Astrophys. J., Suppl. Ser. 29, 1, 1974.
42. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян*, Астрофизика, 28, 375, 1988.
43. *Л. В. Мирзоян*, Ранние стадии эволюции звезд, Изд-во АН Армении, Ереван, 1991.
44. *G. H. Herbig*. in „Stellar Populations", ed. D. J. K. O. Connell, Specola Astron. Vaticana, Recherche Astron., 5, 127, 1958.
45. *G. H. Herbig*, Astrophys. J., 135, 736, 1968.
46. *B. R. Pettersen, S. L. Hawley*, Astron. Astrophys., 217, 187, 1989.
47. *R. E. Gershberg*, Astrophys. Sp. Sci., 19, 75, 1972.
48. *C. H. Lacy, T. J. Moffett, D. S. Evans*, Astrophys. J. Suppl. Ser. 30, 85, 1976.
49. *В. И. Краснобабцев, Р. Е. Гершберг*, Изв. Крымской астрофиз. обс., 53, 154, 1975.
50. *С. А. Коротин, В. И. Краснобабцев*, в кн. „Вспыхивающие звезды и родственные объекты", ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, Ереван, 1985, стр. 147.
51. *G. Haro*, Rev. Mex. Astron. Astrophys., Special Issue, 7, 183, 1983.
52. *G. Haro, E. Chavira*, Vistas in Astronomy, 8, 89, 1966.
53. *Р. Ш. Нацвлишвили*, Вспыхивающие звезды в Орионе и Плеядах, Канд. диссертация, Бюраканская астрофизическая обсерватория, 1988.
54. *G. H. Herbig*, in „Problems of Physics and Evolution of the Universe", ed. L. V. Mirzoyan, Acad. Sci. Armenia, Yerevan, 1978, p. 171.
55. *П. Н. Холопов и др.*, Общий каталог переменных звезд, 4-е издание, Наука, М. 1985—87.
56. *G. Haro*, in „The Galaxy and The Magellanic Clouds", eds. F. J. Kerr, A. W Rodgess, IAU-URSI Symp. No 20, Australian Acad. Sci., Canberra, 1964, p. 30.
57. *A. S. Hojaev*, in „Flare Stars in Star Clusters, Associations and Solar Vicinity", eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov, IAU Sump. No. 137, Kluwer Acad. Publish., Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 81.
58. *Я. Б. Зельдович, И. Новиков*, Релятивистская астрофизика, Наука, М., 1967.
59. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян, А. Л. Мирзоян*, Астрофизика, 31, 259, 1989.
60. *M. Rodono*, Flare Active Binary Systems, Catania Obs. Prepr., 1979.
61. *Д. С. Эванс*, в кн. „Вспыхивающие звезды", ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, Ереван, 1977, стр. 40.
62. *М. М. Закиров*, в сб., „Исследование экстремально молодых звездных комплексов" Изд-во ФАН, Ташкент. 1975, стр. 95.
63. *Г. Н. Салукадзе*, Астрофизика, 16, 505, 687, 1980.
64. *В. В. Амбарян*, Астрофизика, 28, 149, 1988.
65. *В. В. Амбарян, А. Л. Мирзоян*, Астрофизика, 35, 27, 1991.

66. *W. Gliese*, Veröff. Astron. Rechen Inst. Heidelberg, No. 22, 1969.
67. *W. Gliese, H. Jahreiss*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 38, 423, 1979.
68. *R. Wielen, H. Jahreiss, R. Krüger*, in „The Nearby Stars and Stellar Luminosity Function", eds. A D. Philip. A. R. Urgren. IAU Colloquium No. 76, Davis Press, New York, 1983, p. 168.
69. *Z. Svestka*, Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia, 5, 4, 1954.
70. *М. А. Араквлян*, Сообщ. Бюракан. обс., 41, 56, 1970.
71. *Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян, А. Л. Мирзоян*, Астрофизика, 29, 531,1998.
72. *G. Haro, E. Chavira*, Bol. Obs. Tonantzintla, 5, No. 31, 23. 1969.
73. *О. С. Чавушян*, Исследование вспыхивающих звезд в области агрегата Плеяды, Канд. диссертация, Бюраканская астрофизическая обсерватория, 1979.
74. *А. Л. Мирзоян*, Астрофизика, 19, 588, 1983.
75. *J. H. Oort*, in „Stellar Populations", ed. D. J. K. O' Connel Specola Astron. Vatiesna, Recharche Astron., 5, 419, 533, 1958.
76. *П. П. Паренаго*, Труды ГАИШ, 25, 1964.
77. *A. D. Andrews*, Bol. Ints. Tonantzintla, 5, No. 34, 195, 1970.
78. *О. С. Чавушян, А. Т. Гарибджанян*, Астрофизика, 11, 565, 1975.
79. *Э. С. Парсамян, Г. Б. Оганян*, Астрофизика, 29, 220, 1988.
80. *G. Haro*, Astrofizika, 29, 18, 1988.
81. *W. Götz*, in, „Flare Stars in Star Clusters, Associacions and Solar Vicinity" eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov, IAU Symp. No. 137, Kluwer Acad. Publish. Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 215.
82. *W. Kunkel*, in „Variable Stars and Stellar Evolution", ees. V. Sherwood, L. Plaut, IAU Symp. No. 67. Reidel, Dordrecht, 1975, p. 15.
83. *J. L. Linsky*, in „Activity in Red Dwarf Stars", eds. P. B. Byrne, M. Rodono, IAU Colloquium No. 71, Reidel, Dordrecht-Boston-Lancaster, 1983, p. 39.
84. *G. M. Simnett*, ibid. p. 289.
85. *K. Lang*, in „Flare Stars in Star Clusters, Associations and The Solar Vicinity", IAU Simposium No. 137, eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 125.
86. *Л. В. Мирзоян, Г. Б. Оганян*, Астрофизика, 13, 561, 1977.
87. *В. А. Амбарцумян, Г. С. Саакян*, Астрофизика, 1, 7, 1965.
88. *G. Haro*, in „Stars and Stellar Systems", ed. B. M. Middlehurst, L. H. Aller Vol. 8, Univ. Chicago Press, Chicago, 1968, p. 141.
89. *Л. В. Мирзоян, Н. Д. Меликян*, в кн. „Вспыхивающие звезды и родственные объекты", ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, Ереван, 1986, стр. 153.
90. *О. С. Чавушян, Н. Д. Меликян*, в кн. „Вспыхивающие звезды", ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, Ереван, 1977. стр. 74.
91. *Л. В. Мирзоян, О. С. Чавушян, Р. Ш. Нацвлишвили, Г. Б. Оганян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян*, Астрофизика. 17, 197, 1981.