

Переменные звезды класса RW Возничего и сходные с ними объекты*

П. Н. Холопов

К переменным класса RW Возничего относятся неправильные переменные звезды, связанные с диффузными туманностями, и быстрые неправильные.

В настоящее время можно предложить классификацию переменных класса RW Aur и сходных с ними объектов, приведенную в табл. 1.

Анализ основных известных фактов позволяет сформулировать следующие гипотезы:

а) Переменные звезды класса RW Aur возникли сравнительно недавно и продолжают возникать в настоящее время в диффузных туманностях.

б) Последовательность типов переменных класса RW Aur и сходных с ними объектов, приведенная в табл. 1, является в основном эволюционной последовательностью.

в) В результате дальнейшей эволюции эти звезды превращаются в обычные звезды главной последовательности постоянного блеска. Вспышки и другие активные образования, наблюдаемые в хромосфере Солнца, являются реликтами гораздо более интенсивных процессов, происходивших в протяженной хромосфере переменной звезды типа Т Тельца, которой некогда было Солнце.

г) Физическая эволюция членов звездных ассоциаций сопровождается постепенным распадом этих группировок и связанных с ними туманностей. Спиральная составляющая Галактики эволюционирует в составляющую диска.

The Variable Stars of RW Aurigae Class and Similar Objects

by P. N. Kholopov

In the RW Aurigae class variables the irregular variables associated with diffuse nebulosities and also rapid irregulars are reckoned.

It is possible now to suggest the classification scheme of RW Aurigae class variables and of similar objects given in the table 1.

The analysis of basic known facts permits us to formulate the follow-

*) Обзорный доклад, сделанный на Львовском пленуме Комиссии по изучению переменных звезд Астросовета АН СССР 19 июня 1963 г. В связи с тем, что с момента доклада до сдачи статьи в печать прошло полгода, в текст доклада внесены некоторые дополнения.

ing hypotheses:

a) The RW Aurigae class variables have born comparatively recently and continue to appear at the present time in diffuse nebulae.

b) The sequence of types of RW Aurigae class variables and of similar objects given in the table 1 is, mainly, evolutionary one.

c) As a result of the subsequent evolution these stars evolve to the usual main sequence stars of constant brightness. The flares and some others active formations observed in the chromosphere of the Sun are relicts of the much more intense processes taken place in the tenuous chromosphere of the T Tauri type variable star that has turned into the Sun.

d) Physical evolution of the stellar associations members is being accompanied by the gradual disintegration of these groups and nebulosities associated with them. The spiral component of the Galaxy evolves to the disk component.

1. Со дня открытия первых переменных звезд класса RW Возничего прошло свыше 100 лет. Еще в пятидесятых годах прошлого века О. Струве обнаружил переменность блеска нескольких звезд в районе туманности Ориона и обратил внимание на связь группировки этих переменных с туманностью [1, 2]. Впоследствии подобные группировки получили название Т-ассоциаций [3]. В 1863 г. Г. Бонд [4] открыл переменность блеска Т Ori, а Дж. Хинд и другие астрономы окончательно убедились к этому времени в переменности блеска Т Tau [5]. В 1906 Л. П. Чераская [6] открыла переменность блеска RW Aur.

На протяжении последующих 40 лет происходило накопление наблюдений, открывались новые переменные этого класса и их группировки. Одновременно делались первые попытки классификации и объяснения неправильных изменений блеска обширного и разнородного ряда объектов, связь между которыми оставалась неясной. Для объяснения причин их изменений выдвигались различные гипотезы: изменение условий экранирования звезды темной пылевой средой, находящейся между звездой и наблюдателем (см., например, [7, 8]), физическое взаимодействие между звездой и окружающей ее туманностью [8] и даже упомянутая еще полвека тому назад возможность того, что переменные звезды в туманности Ориона — это звезды, возникающие в настоящее время в результате конденсации вещества туманности [8].

Но лишь в течение последних двадцати лет, после опубликования в 1945 г. работы А. Джоя, посвященной систематическому исследованию спектральных особенностей звезд типа Т Tau [9], и появления в 1947 г. работы В. А. Амбарцумяна [10], в которой впервые на основании широкого сопоставления большого числа фактов, теорий и гипотез был сделан вывод о продолжении процесса звездообразования в настоящее время, интерес к этим объектам необычайно возрос, поскольку именно неправильные переменные класса RW Возничего могут, по-видимому, рассматриваться как звезды, находящиеся на сравнительно ранних стадиях эволюции.

Почти все наши сведения о свойствах звезд класса RW Возничего, которыми мы сейчас располагаем, получены за эти годы. Мы не собираемся останавливаться на детальном описании и анализе спектраль-

ных особенностей этих переменных и не сможем уделить должного внимания всем аспектам рассматриваемой обширной проблемы. Это и не нужно, поскольку уже опубликовано немало обзорных статей, содержащих изложение истории развития представлений о переменных класса RW Возничего [11, 12, 13, 14]. В последней из них [14] содержится весьма полный список литературы, относящейся к рассматриваемым вопросам.

В настоящей статье мы ограничимся рассмотрением лишь наиболее существенных явлений, достаточным для обоснования наших представлений о роли этих объектов в звездной эволюции.

2. В настоящее время к классу RW Возничего принято относить неправильные переменные звезды, связанные с диффузными туманностями, и так называемые быстрые неправильные, не имеющие видимой связи с туманностями. Медленные неправильные гиганты и сверхгиганты поздних спектральных классов обычно не включаются в эту категорию объектов.

Все эти объекты характеризуются неправильными изменениями блеска. Около десяти лет назад было выяснено [12], что скорость этих изменений не является существенным критерием, свидетельствующим о принадлежности переменной к классу RW Возничего. У некоторых переменных этого класса изменения блеска протекают весьма медленно (как у Т Тельца); обычно же наблюдаются периоды постоянства блеска, прерываемые периодами оживленных колебаний и очень быстрых изменений, напоминающих затмения или вспышки.

Лишь для группы быстрых неправильных, —наименее изученной разновидности переменных класса RW Возничего,— критерий быстроты изменений продолжает играть при классификации основную роль.

На рис. 1 приводятся несколько характерных отрезков кривых блеска переменных класса RW Возничего ранних и промежуточных спектральных классов.

Звезды ранних спектральных классов (O - F) показывают, в основном, изменения блеска затменного характера, звезды классов G - K —любые колебания, причем одна и та же звезда (как например, RY Tau) может долго находиться и в максимуме и в минимуме блеска или же менять блеск в этих пределах. Для многих звезд поздних спектральных классов (K - M) настолько характерны вспышки, что они даже выделены Г. Аро [15] в особую разновидность - вспыхивающие (flash) переменные.

Привлечение внимания наблюдателей к переменным класса RW Aur, получение систематических длительных и точных рядов наблюдений привело уже к обнаружению в ряде случаев у этих звезд, —считавшихся ранее полностью неправильными,— интереснейших явлений периодичности или цикличности. Так, у RW Aur, S CrA и RU Lup найдена цикличность изменений блеска с периодами, соответственно близкими к 4, 5 и 6 дням.

Современную классификацию рассматриваемых нами и сходных с ними объектов удобнее всего представить с помощью следующей таблицы (табл. 1).

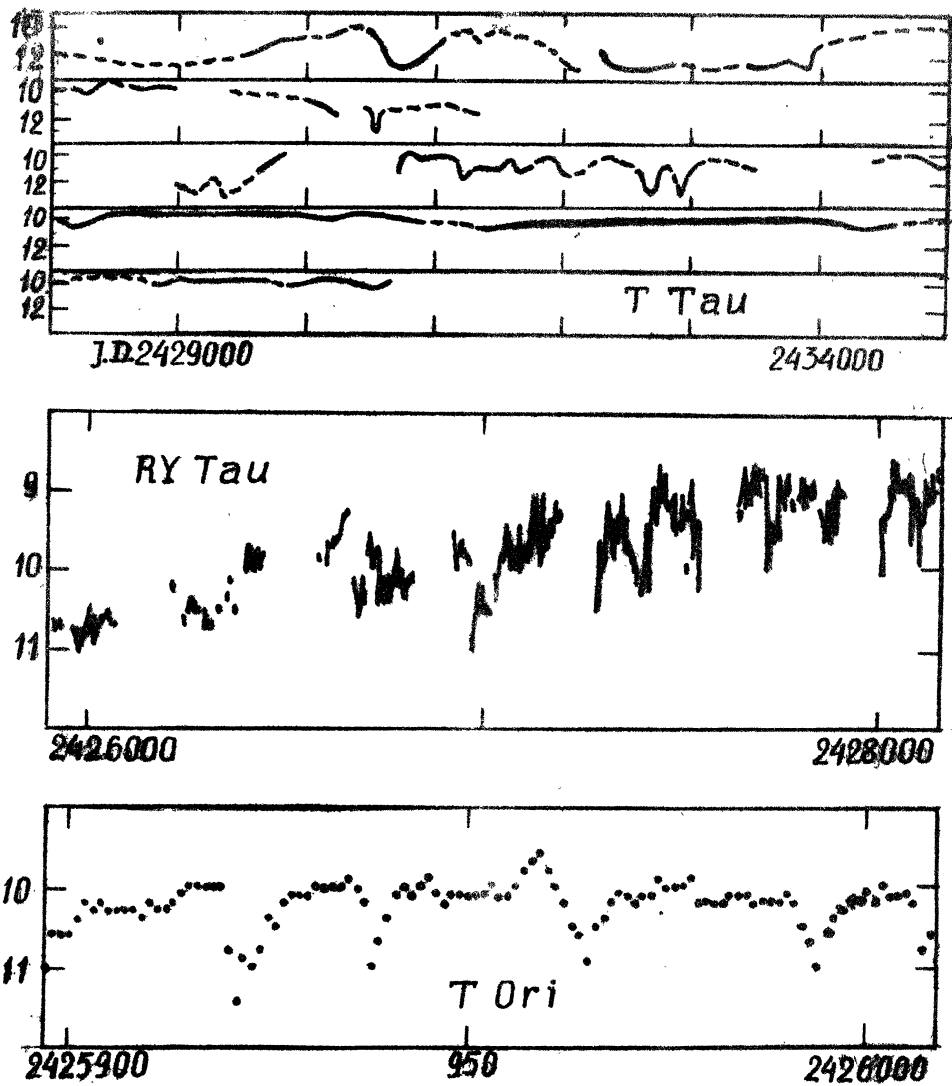


Рис. 1

Таблица 1.

Классификация переменных класса RW Aur и сходных с ними объектов

Название	Сокр. обозн.	Типичный объект	Спектральный класс; описание спектра	Связь с туманностью
1	2	3	4	5
Объекты Хербига-Аро	HNO	Herbig 2 (у NGC 1999)	Сильные эмиссионные линии H, [S II] λ 4068, 4076, 6717, 6731, [OI] λ 6300, 6363, [OII] λ 3727, [OIII] и Ca II на очень слабом непрерывном фоне.	Очень тесная
Переменные типа FU Ориона	FU	FU Ori	Aea - Frea с признаками высокой светимости.	Очень тесная

Продолжение.

1	2	3	4	5
Переменные типа T Tau	In T I T	T Tau RW Aur	Fe-Me; флюоресцент- ные эмиссионные ли- нии FeI $\lambda\lambda$ 4064, 4132, [S II] $\lambda\lambda$ 6717, 6731, [OI] $\lambda\lambda$ 6300, 6363, линия поглощения Li I λ 6707, эмиссионные линии H, He I, Ca II, Fe II, Ti II.	Обычно тесная
Орионовы переменные ранних спе- ктральных классов	Ine (a) Ina (a) In (a)	T Ori Z CMa BF Ori TY CrA XY Per	Be-Ae; нередко при- знаки наличия оболоч- ки или P Cyg- характе- ристики Bea - Aea O - A	Заметная
Орионовы переменные промежудо- чных и позд- них сп. кл.	Ine (b) Ina (b) In (b)	SU Aur SS Mon AH Ori	Fe-Me Fea - Mea F-M	Заметная
Вспыхиваю- щие пере- менные (flash)	Infe Inf a Inf -	V 389 Ori V 390 Ori FF Tau	Ke-Me Kea - Mea K-M	Заметная
Быстрые не- правильные ранних спек- тральных классов	Ise (a) Isa (a) Is (a)	XX Oph UX Ori BN Ori	Be-Ae, иногда признаки оболочки Bea - Aea B-A	Чезаметна
Быстрые не- правильные промежудо- чных и позд- них спект- ральных классов	Ise (b) Isa (b) Is (b)	PZ Mon? AQ Dra BH Cep V 338 Cas	Fe-Me Fea - Mea F-M	Чезаметна
Переменные типа UV Ки- та (flare)	UV	UV Cet	dM0e - dM6e	Отсутствует
Эмиссионные объекты пос- тоянного блеска в ту- манностях	ne na	- -	Be-Me Bea - Mea	Заметна

В основу этой классификации положены принципы, выработанные на Бюраканском совещании по нестационарным звездам [16] Дж. Хербигом, Г. Аро и автором настоящей статьи. Эти принципы получили дальнейшее развитие в статьях Дж. Хербига [14], Г. Аро [15] и автора [17].

Переменные звезды класса RW Возничего занимают среднюю часть таблицы, ограниченную пунктирными линиями. Начало и конец ее отведены объектам, которые по тем или иным соображениям, могут иметь сходство или генетическую связь с ними. В соответствии с установившейся практикой, мы предлагаем подразделять переменные **класса RW Aur** на несколько определенных типов.

Начнем с описания **переменных типа Т Тельца** — наиболее определенной и однородной с физической точки зрения разновидности звезд класса RW Aur. Неправильная переменная относится к типу Т Тельца на основании следующих, **исключительно спектральных**, признаков. Спектр наиболее типичных звезд напоминает спектр солнечной хромосферы. На фоне непрерывного спектра видны многочисленные эмиссионные линии водорода, гелия и металлов. Наиболее интенсивны из них линии H, He I, Ca II, Fe II и Ti II. Непрерывная эмиссия (иногда переменной интенсивности) обычно словно вуалирует линии поглощения. Когда линии поглощения оказываются заметными, их относительные интенсивности свидетельствуют о том, что спектральные классы этих звезд заключены в пределах от позднего F до M, а светимость обычно низка (IV - V классы светимости). Специфическим признаком типа является наличие флуоресцентных эмиссионных линий Fe I $\lambda\lambda$ 4064, 4132, наблюдаемых только у звезд типа Т Тельца, и линий [S II], [OI]. Эти переменные наблюдаются обычно только в диффузных туманностях или в тесном соседстве с ними. Классификационный символ InT целесообразно сопровождать указанием спектрального класса (в скобках), а наличие в спектре непрерывной эмиссии можно отмечать добавлением буквы с: например, InT(G)s.

Поскольку линии Fe I и [S II], служащие специфическим признаком переменных типа Т Tau, не могут наблюдаться в спектрах звезд, более горячих, чем звезды класса F5, то звезды ранних спектральных классов в принципе не могут быть отнесены к типу Т Тельца, даже если окажется, что по своей природе они ничем не отличаются от звезд более поздних классов.

Нам представляется целесообразным предложение Дж. Хербига [14] называть все неправильные переменные, связанные с туманностями, которые нельзя отнести к типу Т Тельца, — или из-за отсутствия в их спектрах упомянутых специфических характеристик или просто из-за недостаточной изученности, — **орионовыми переменными**. Название это достаточно определено и кратко.

По приведенным выше соображениям, тип орионовых переменных целесообразно разделить на два подтипа: орионовы переменные ранних спектральных классов (O - A), обозначаемые символом In(a), и орионовы переменные промежуточных и поздних спектральных классов, обозначаемые символом In(b). Символ (a) ставится в тех случаях, когда известно лишь, что спектральный класс ранний, но сам он

точно не определен. Символ (b) ставится, если известно лишь, что спектральный класс не является ранним. Если спектральный класс известен, то он приводится в скобках вместо букв a и b: например, In (A), In (M) и т. д.

Оба подтипа орионовых переменных, в свою очередь, можно разделить на разновидности: эмиссионные объекты, имеющие эмиссионные линии в фотографической области спектра (Ine), объекты, показывающие в эмиссии только линию $H\alpha$ (Ina), и орионовы переменные без эмиссий (In). Отметим, что обычно звезды, в спектрах которых в эмиссии наблюдаются только линии H и K Ca II, не относятся к категории эмиссионных, так как явление кальциевой эмиссии, по-видимому, очень распространено среди обычных звезд.

Если сведения о цвете и спектре орионовых переменных ограничены, то соответственно ограничивается и классификационная символика: Ine, Ina, In.

Следующая категория переменных класса RW Возничего — **вспыхивающие** (flash) **переменные**, характеризующиеся почти постоянным блеском и происходящими время от времени внезапными вспышками. Во время этих вспышек блеск звезды за секунды и десятки секунд возрастает на полвеличины и даже на несколько величин, а затем, в течение десятков и сотен минут, возвращается к первоначальному уровню. В отличие от звезд типа UV Кита (для которых Г. Аро предлагает применять термин flare), вспыхивающие переменные имеют более высокую светимость и заметно ассоциируются с туманностями, содержащими переменные типа Т Тельца. И здесь встречаются те же разновидности, как и в случае орионовых переменных, а именно, — звезды, у которых в промежутках между вспышками виден либо эмиссионный спектр, либо в эмиссии наблюдается только линия $H\alpha$, либо (в 70 % случаев) в спектре не наблюдается никаких эмиссий. Во время вспышки все эти объекты показывают интенсивный эмиссионный спектр, напоминающий спектры звезд типа Т Тельца, с большим числом ярких линий различной степени возбуждения, с интенсивной непрерывной эмиссией, особенно в ультрафиолетовой области, заливающей обычно наблюдаемые линии поглощения. Амплитуда вспышек максимальна в ультрафиолетовых лучах, меньше — в синих и еще меньше — в желтых и красных лучах. В близкой инфракрасной области (около 8400 Å) изменений не отмечено. Этим вспыхивающие звезды, по мнению Г. Аро, отличаются от звезд типа Т Тельца и орионовых переменных. У некоторых из вспыхивающих звезд наряду с усилением во время вспышки ультрафиолетового и голубого континуума усиливается и красная область непрерывного спектра, но не эмиссии в этой области.

Между вспыхивающими звездами и орионовыми переменными поздних классов, по-видимому, нет четкой границы, так как явления вспышек иногда наблюдаются и у звезд, показывающих непрерывные изменения блеска, а блеск вспыхивающих звезд в промежутках между вспышками, в свою очередь, оказывается подверженным колебаниям. У вспыхивающих звезд вспышки лишь более четко выражены и являются, вероятно, основной формой изменений их блеска.

Следует отметить, что нет четкой границы и между выделенными

выше тремя разновидностями рассматриваемых объектов: эмиссионными, не показывающими эмиссий и обладающими лишь $\text{H}\alpha$ -эмиссией. В действительности интенсивность эмиссий в спектрах одних и тех же звезд может меняться в весьма широких пределах, причем эмиссия, — особенно если она слаба, — может иногда даже полностью исчезать. Так как наши сведения о спектрах многих таких переменных основаны на крайне ограниченном числе спектрограмм, то не исключено, что формальной границы между этими разновидностями вообще не существует. Однако сама возможность выделения этих разновидностей свидетельствует о различии в степени интенсивности эмиссионных явлений в их спектрах, безусловно имеющем важный физический смысл. В тех случаях, когда эмиссионные характеристики не постоянны, можно сопровождать символы e , a и s буквой v .

Последний из основных типов переменных класса RW Возничего — **быстрые неправильные**, т.е. неправильные переменные, у которых отмечаются изменения блеска на полвеличины и величину в течение нескольких часов или суток. Их также целесообразно разделить на два подтипа: быстрые неправильные ранних спектральных классов и быстрые неправильные промежуточных и поздних спектральных классов. Каждый из этих подтипов, в свою очередь, делится на разновидности, в зависимости от степени богатства спектра эмиссионными линиями.

Резкой границы между быстрыми неправильными и орионовыми переменными не существует. Большинство орионовых переменных является быстрыми неправильными. В этом случае сокращенное обозначение их типа можно сопровождать символом s (например, Ines).

В районах богатых группировок орионовых переменных последние всегда сосуществуют с быстрыми неправильными, ибо основное различие между переменными этих двух типов состоит в различии степени их связи с туманностью.

Если мы видим, что неправильная переменная наблюдается в туманности, — независимо от того, погружена ли она в туманность или проектируется на нее (случаи эти трудно различить без тщательного дополнительного исследования, которое не всегда бывает возможным), — мы называем ее орионовой переменной. Если же неправильная переменная с быстрыми изменениями блеска наблюдается далеко от каких-либо видимых диффузных туманностей, на сравнительно богатом звездном фоне (т.е. когда связь ее с диффузной туманностью незаметна), — она относится к быстрым неправильным. Естественно, что когда такие звезды окружают туманности, содержащие богатые группировки орионовых переменных, многие из них, просто проектирующиеся на эти туманности, относятся нами к орионовым переменным, а так как, к тому же, в подобных случаях бывает трудно наметить четкую границу туманности, то обычно все неправильные переменные, окружающие диффузные туманности, считаются орионовыми.

Целесообразно отмечать случаи несомненной связи переменной с туманностью (когда звезда, явно погруженная в туманность, освещает последнюю или находится в голове кометообразной туманности), заменяя строчную букву n в классификационном символе прописной: например, Ines .

Отметим, кстати, что быстрыми неправильными являются все переменные, которые относятся к типу RW Aur последователями К. Хоффмейстера [11] на основании анализа только оценок блеска этих переменных.

Следует подчеркнуть, что быстрых неправильных со спектральными классами, более поздними, чем F, не являющихся орионовыми переменными, известно очень мало. Быстрые неправильные классов K-M, как правило, являются вспыхивающими.

Принимая во внимание все вышеизложенное, мы можем сказать, что RW Aur действительно является наилучшим представителем всей совокупности рассматриваемых объектов, так как она обладает основными характеристиками крайних разновидностей представляемого ею класса. В самом деле, RW Aur имеет характернейший спектр переменных типа Т Тельца, теснейшим образом ассоциированных с туманностями; в то же время отсутствие видимой связи с туманностью и наличие очень быстрых изменений блеска делают ее типичным представителем быстрых неправильных. Ее классификационный символ — IT(G) s.

3. Все рассмотренные нами объекты образуют на небе ярко выраженные группировки — Т-ассоциации [17, 18].

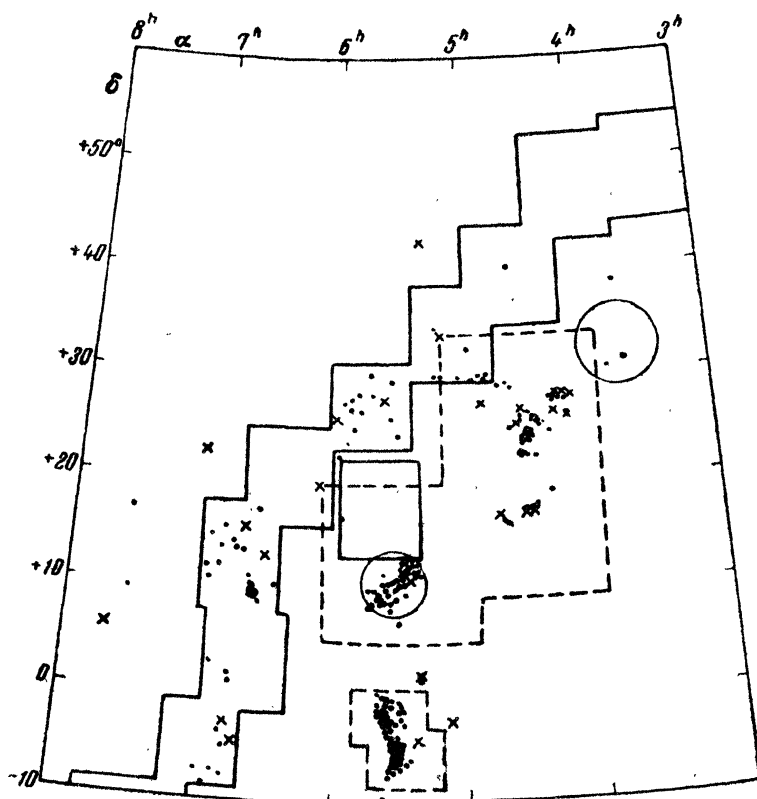


Рис. 2

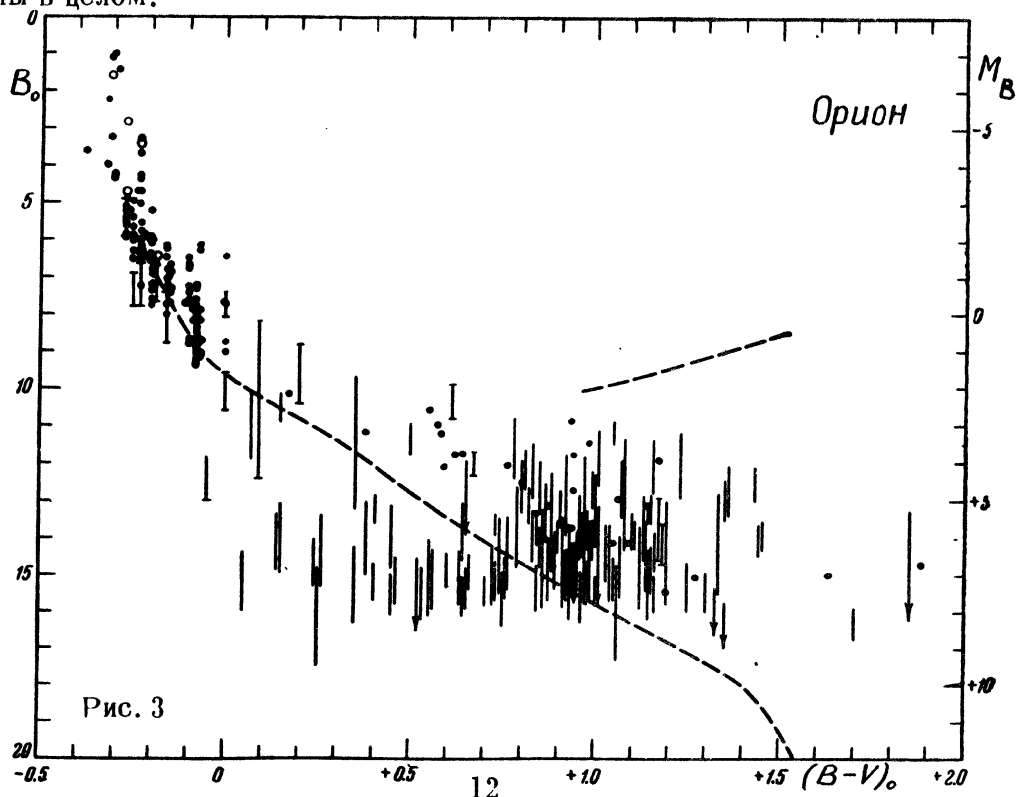
На рис. 2 изображена область неба в районе созвездий Персея, Тельца, Возничего, Ориона, Единорога с несколькими Т-ассоциациями. Сплошными линиями обведены участки, в которых переменные класса RW Aur выявлены практически полностью до некоторой предельной

звездной величины фотометрическим методом (как быстрые неправильные), а пунктиром — области, в которых почти все переменные класса RW Aur обнаружены по их спектральным особенностям с помощью снимков, полученных с объективной призмой.

К настоящему времени открыто уже 48 Т-ассоциаций и свыше 10 возможных группировок этого рода. Число известных переменных класса RW Aur и эмиссионных звезд, связанных с диффузными туманностями (а подобные звезды при надлежащем исследовании оказываются обычно переменными класса RW Aur), приближается к 2000.

Вне Т-ассоциаций известны лишь очень немногочисленные переменные этого класса. Обычно отнесение их к данному классу неуверенно, но нередко дальнейшее изучение показывает, что эти казавшиеся изолированными переменные являются в действительности наиболее яркими членами новых (открываемых вокруг них) Т-ассоциаций.

Все известные в пределах 500 пс от Солнца Т-ассоциации связаны с группировками О- и В-звезд. Кроме того, они открыты во всех далеких О-ассоциациях, в которых производились специальные поиски переменных класса RW Aur. Это позволяет определить светимость упомянутых переменных путем построения диаграмм величина-показатель цвета (спектральный класс) звезд для звездных ассоциаций. Калибровка абсолютных величин при этом производится с помощью звезд ранних спектральных классов постоянного блеска, классы светимости которых известны. Эта процедура осложняется трудностью учета поглощения света в туманностях, связанных с ассоциациями, так как мы не знаем нормальных показателей цвета переменных класса RW Aur и не умеем пока учитывать поглощение для каждой индивидуальной звезды. Однако можно статистически учесть среднее поглощение для группы в целом.



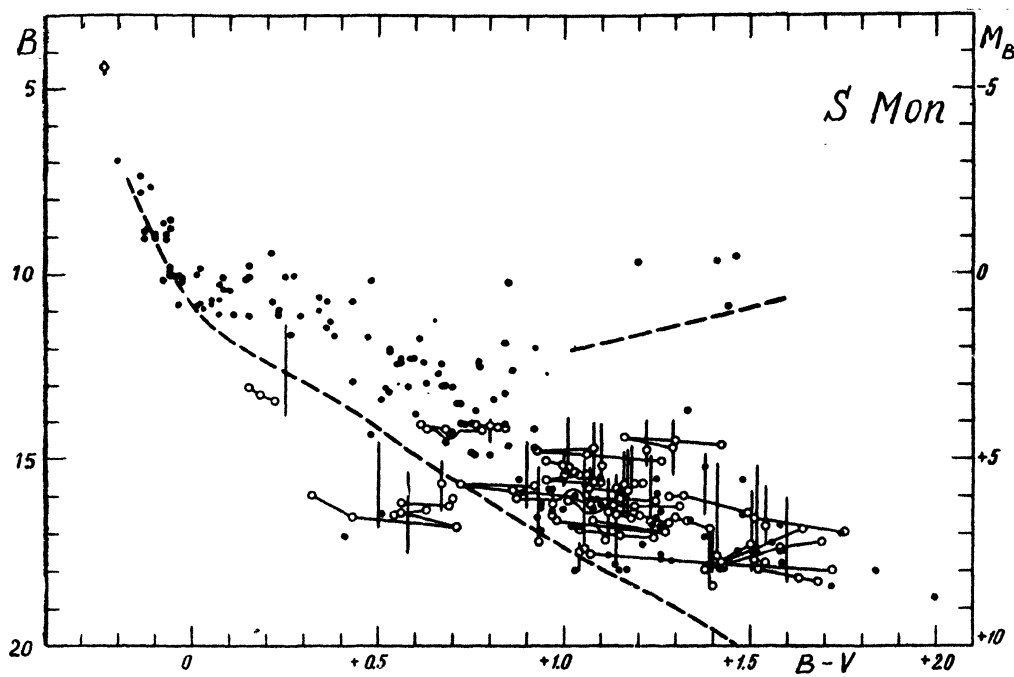


Рис. 4

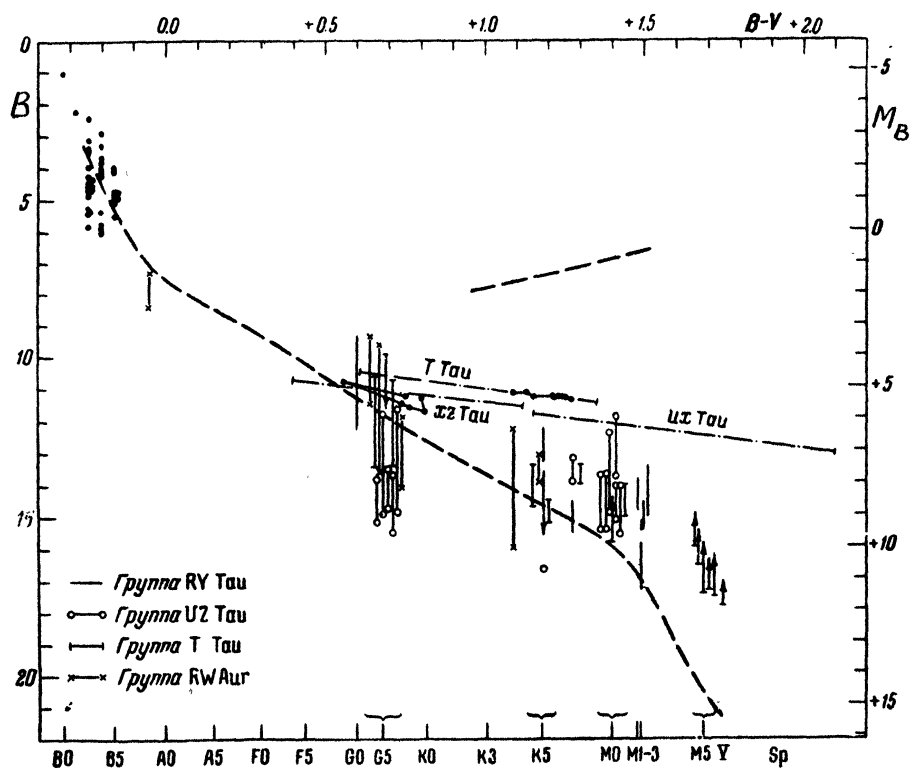


Рис. 5

На рис. 3-5 представлены образцы диаграмм величина-показатель цвета для ассоциаций Ori I, S Mon и четырех ядер кратной ассоциации в Тельце-Возничем [19]. Прерывистыми линиями изображены начальная главная последовательность и ветвь гигантов.

Сопоставление всех известных диаграмм такого рода [19] показывает, что переменные класса RW Aur располагаются на них в области главной последовательности и в зоне субгигантов. Условно область расположения этих звезд можно назвать Т-полосой. Она изображена схематически на рис. 6. Вспыхивающие переменные занимают правый конец Т-полосы и, таким образом, являются, в основном, субгигантами.

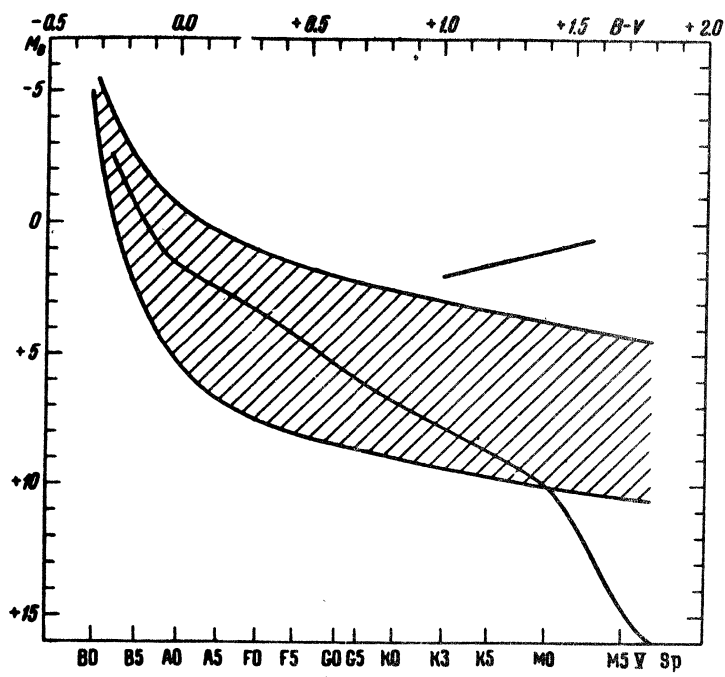


Рис. 6

Данные о светимости звезд класса RW Aur подтверждаются анализом их спектральных характеристик, а также собственных движений [20], которые являются, в основном, отражением движения Солнца. Дисперсия скоростей звезд класса RW Aur в Т-ассоциациях исключительно мала — меньше 2 км/сек [14].

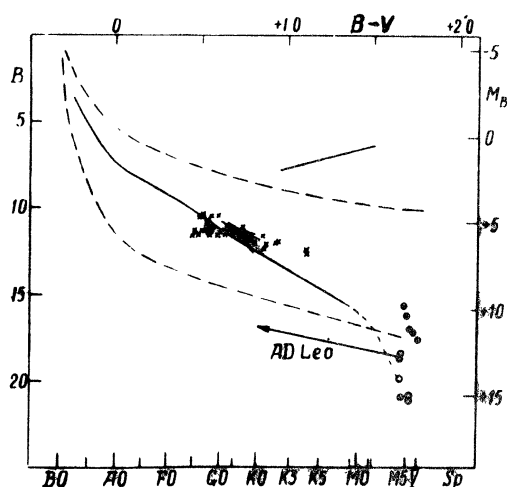


Рис. 7

При изменениях блеска переменные класса RW Aur перемещаются по диаграмме Герцшпрунга-Рессела преимущественно вдоль Т-полосы. На рис. 7 крестиками изображены положения RW Aur, нанесенные по неопубликованным еще наблюдениям Л. Н. Мосидзе (Абастуманская астрофизическая обсерватория), любезно предоставленным в наше распоряжение. Мы видим, что довольно большая область диаграммы может с течением времени быть заполнена точками, соответствующими положениям одной и той же звезды.

На двухцветной диаграмме (U-B, B-V) типичные звезды типа Т Тельца, обладающие значительным ультрафиолетовым избытком, располагаются над кривой, соответствующей стандартной главной последовательности. В ту же область диаграммы переходят в момент вспышки и вспыхивающие переменные. На рис. 8 точками изображены звезды главной последовательности скопления Плеяды, кружками — положения RW Aur по упомянутым выше наблюдениям Л. Н. Мосидзе, а сплошной замкнутой линией — траектория движения по двухцветной диаграмме вспыхивающей переменной FL Tau (H II 1306) в Плеядах во время вспышки [21].

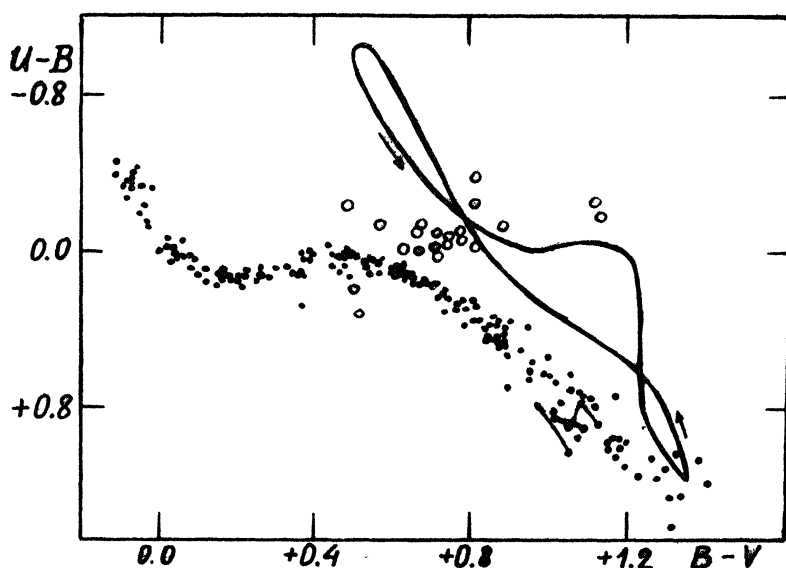


Рис. 8

Довольно большой процент переменных класса RW Aur составляют тесные видуально-двойные системы, не разделяемые при фотоэлектрических наблюдениях и на обычных мелкомасштабных снимках. Компоненты их, судя по светимостям и спектральным особенностям, также могут быть и нередко являются орионовыми переменными поздних спектральных классов и вспыхивающими переменными. Это обстоятельство следует иметь в виду при анализе и интерпретации явлений, сопровождающих изменения блеска и цвета переменных класса RW Aur.

4. Знание диаграмм Герцшпрунга-Рессела для Т-ассоциаций позволяет находить расстояния до этих систем. Система Т-ассоциаций является плоской [18]. Нет ни одной Т-ассоциации с z -

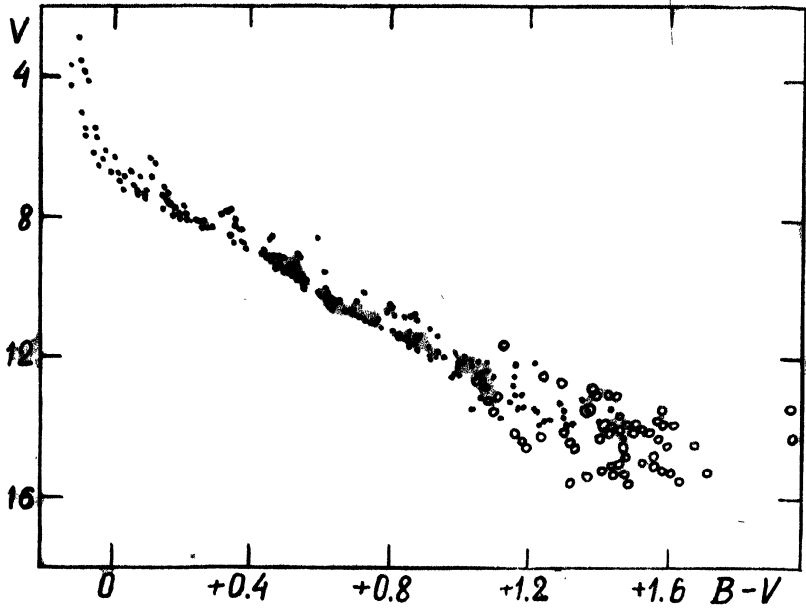


Рис. 9

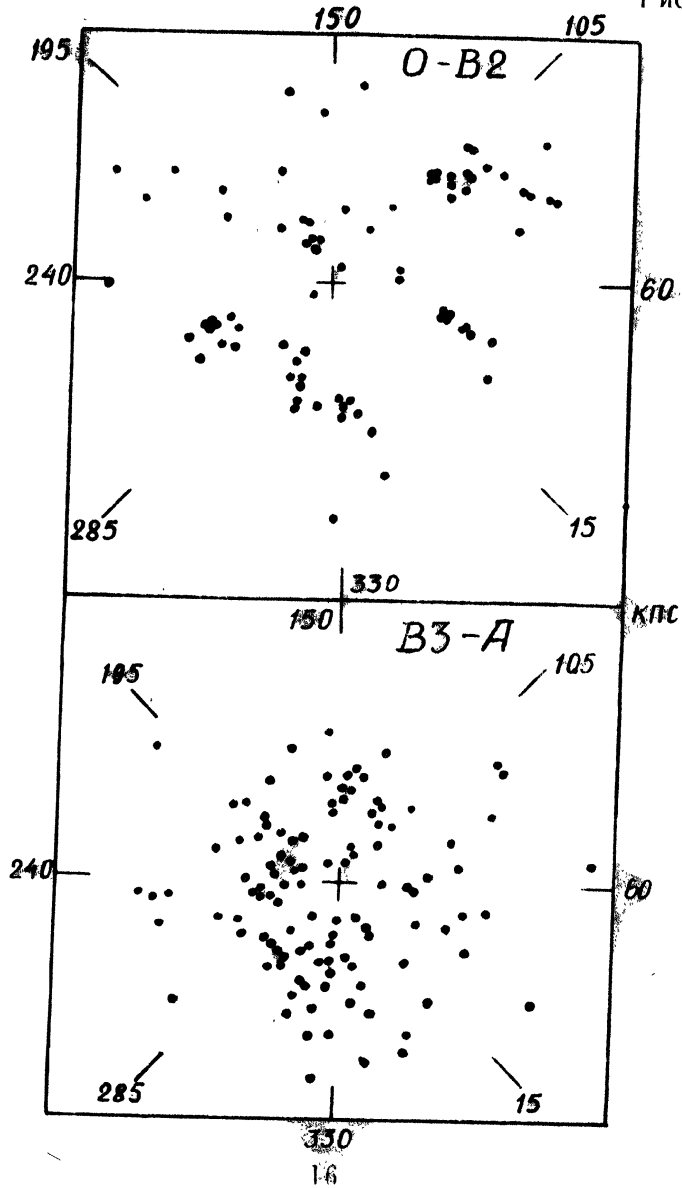


Рис. 10

-координатой, превышающей 125 пс. Средняя z -координата Т-ассоциаций — 50 пс.

Диаметры их заключены в пределах от 3 до 100 пс. Число известных членов в каждой ассоциации — от нескольких единиц и десятков до нескольких сотен. Парциальные пространственные плотности ассоциаций, т.е. пространственные плотности совокупности известных членов, в разных ассоциациях различны.

Некоторые ассоциации, — особенно те, которые тесно связаны с туманностями, — имеют такую же высокую среднюю плотность, как и рассеянные звездные скопления. По существу, они являются настоящими звездными скоплениями, содержащими огромное число орионовых переменных [22]. Плотность других, — особенно тех, которые не связаны с туманностями и состоят, в основном, из быстрых неправильных, — может быть на 2-3 порядка меньше. Чем меньше парциальная плотность ассоциации, тем, как правило, больше ее линейные размеры.

Спектральный состав ассоциаций определяется Т-полосой. В некоторых О-ассоциациях содержатся также сверхгиганты ранних и поздних спектральных классов. В спиральных галактиках ассоциации определяют собой структуру спиральных ветвей, с которыми связаны и диффузные туманности. Таким образом, теперь нам известен, в основном, состав спиральной составляющей нашей Галактики. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела для звездных ассоциаций представляет собой диаграмму Герцшпрунга — Рассела для звезд спиральной составляющей. Аналогичный вид имеют и диаграммы так называемых молодых звездных скоплений, каждое из которых является Т-ассоциацией.

Мы уже упоминали о том, что состав Т-ассоциаций может быть различным. Наряду с Т-ассоциациями, содержащими все описанные выше разновидности переменных класса RW Aur, существуют ассоциации, состоящие, в основном, из быстрых неправильных.

Одним из крупнейших открытий последних лет является открытие Х. Джонсоном и Р. Митчелом [21] вспыхивающих переменных среди членов Плеяд. Тем самым устанавливается непосредственная связь между звездными ассоциациями и скоплениями типа Плеяд, имеющая, с нашей точки зрения, принципиальное значение. Диаграммы Герцшпрунга — Рассела скоплений типа Плеяд, к которым относится почти половина известных рассеянных звездных скоплений, характеризуются наличием главной последовательности, начинающейся со звезд спектрального класса В. У них нет Т-полосы, но члены поздних спектральных классов, испытывающие вспышки, заполняют район диаграммы, напоминающий правый конец Т-полосы (см. рис. 9, воспроизведенный из работы [21]).

В связи с этим обстоятельством, уместно отметить, что звездные скопления, самые яркие члены которых имеют спектральные классы О-В2, образуют в окрестностях Солнца в проекции на галактическую плоскость отрезки спиральных ветвей. Распределение же скоплений,

самые яркие звезды которых имеют спектральные классы В3 и более поздние, безразлично по отношению к спиральным ветвям (см. рис. 10, воспроизведенной из работы [23]). Плеяды относятся именно к этой второй категории скоплений. Отметим также, что в области Плеяд не найдено слабых звезд с эмиссией в $H\alpha$ [14]. Вспыхивающие члены Плеяд относятся к типу Inf.

5. Перейдем к рассмотрению объектов, напоминающих некоторыми своими особенностями переменные класса RW Aur, или родственных последним (см. табл. 1).

Объекты Хербига-Аро. Так называются маленькие слабые туманные объекты, встречающиеся только в плотных диффузных туманностях, иногда небольшими группами и цепочками [13]. В каждом из них имеется звездообразное сгущение (иногда несколько). Спектр объектов Хербига-Аро состоит из сильных эмиссионных линий водорода, запрещенных линий кислорода и ионизованного кислорода, ионизованной серы, ионизованного железа, а также линий H и K CaII, наблюдаемых на очень слабом непрерывном фоне. Природа этих образований остается пока неясной, несмотря на неоднократные попытки проведения спектрофотометрического анализа (см., напр. [24]). Массы их могут быть очень малы — порядка $5 \cdot 10^{-4} M_{\odot}$ [25].

Если бы источник спектра, напоминающего спектр звезд типа Т Тельца, в ярчайших объектах Хербига-Аро стал на 4-5^m ярче, то спектры этих объектов ничем не отличались бы от спектра самой Т Тау и окружающей ее туманности. Известен случай появления в одном из этих объектов (Хербиг 2) двух новых звездообразных сгущений, не наблюдавшихся ранее [13].

Переменные типа FU Ориона. Уникальная переменная FU Ori, наблюдаемая в центре темной глобулы, связана с яркой кометообразной туманностью и окружена группой слабых орионовых переменных типа Ina. Связь с подобными кометообразными туманностями весьма характерна для звезд типа Т Тельца и орионовых переменных, независимо от их спектрального класса. Звезда окружена расширяющейся водородной оболочкой. В спектре ее, класса F с признаками высокой светимости, известна лишь одна эмиссионная линия — $H\alpha$. До 1937 г. на месте FU Ori наблюдалась слабая переменная звезда ~16^m. В 1937 г. ее блеск возрос на 6^m. Через два года FU Ori ослабла почти на 1^m и с тех пор, на протяжении четверти века, сохраняет свой блеск почти неизменным. Это единственный известный случай появления на наших глазах кометообразной туманности и связанной с ней яркой звезды, которая заслуживает тщательных всесторонних наблюдений.

На рис. 11 показана диаграмма Герцшпрунга-Рессела для системы λ Ori, с которой связана ассоциация, содержащая FU Ori. Ломаной стрелкой показано гипотетическое изменение положения FU Ori на этой диаграмме. Конец стрелки соответствует нынешнему положению звезды (без учета поглощения), точка излома — положению ее в 1939 г.

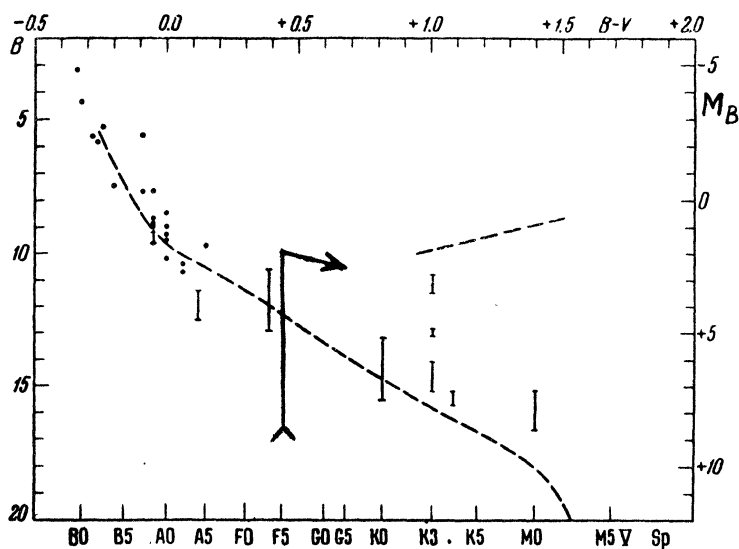


Рис. 11

Переменные типа UV Кита. Это карлики спектральных классов dM0e-dM6e, показывающие быстрые вспышки, подобные тем, которые наблюдаются у вспыхивающих переменных, с теми же спектральными особенностями. От вспыхивающих переменных типа Infe они отличаются лишь более низкой светимостью (это звезды, отмеченные кружками на рис. 7, близкие к главной последовательности, а не субгиганты). Мы не знаем пока, существует ли у них неэмиссионная разновидность, аналогичная звездам типа Inf, а также — встречаются ли они в Т-ассоциациях.

Наконец, в туманностях наблюдается множество объектов (как правило, низкой светимости) с эмиссионными спектрами (мы будем обозначать их символом ne), а также объектов с яркой линией $H\alpha$ (na). Некоторые из них, как уже отмечалось выше, оказываются орионовыми и вспыхивающими переменными. Блеск многих оказывается постоянным. Однако из всего, что мы знаем теперь, следует, что и постоянные объекты могут с течением времени показать переменность блеска. Таким образом, и эти объекты также следует принимать во внимание при рассмотрении состава звездных ассоциаций.

6. В предыдущих разделах мы рассмотрели основные фактические данные о переменных класса RW Aur, известные в настоящее время. Перейдем теперь к интерпретации этих данных и к тем проблемам, которые возникают при попытке осмыслить все эти явления.

Сопоставление различных характеристик и особенностей переменных класса RW Возничего и их группировок позволяет предположить, что эти объекты возникли сравнительно недавно. В пользу этого можно привести следующие аргументы.

а) Основной причиной изменения блеска и спектра этих объектов не является ни экранирование, ни физическое взаимодействие с диффузной средой, так как типичные явления, разыгрывающиеся у этих переменных, происходят и у звезд типа UV Cet, находящихся в пределах 10-20 пс от Солнца, т.е. в районе, где нельзя подозревать наличия облаков диффузной среды, подобных тем, в которых наблюдаются переменные типа Т Тельца. Упомянутые изменения должны быть обус-

ловлены, в основном, внутренними процессами, присущими самим объектам.

б) Спектры некоторых звезд типа Т Тельца свидетельствуют о наличии признаков истечения, потери вещества этими звездами [14]. Лишь недавно М. Уокер [25] нашел указания на существование в ряде случаев (например, у YY Ori) обратного процесса — выпадения окружающего звезду вещества на ее поверхность. Не исключено, впрочем, что в этом случае наблюдаются явления возврата к звезде вещества, выброшенного со скоростью, меньшей параболической, и охладившегося в наружных слоях протяженной оболочки звезды.

в) Дисперсия скоростей членов Т-ассоциаций, как уже упоминалось, мала (1-2 км/сек). Она существенно ниже дисперсии скоростей звезд поля. Таким образом, это не случайные звезды поля, проходящие через туманности. В то же время это и не "захваченные" туманностью звезды поля, почти остановившиеся в ней и взаимодействующие с веществом туманности. В самом деле, плотности некоторых Т-ассоциаций на два порядка больше парциальной плотности звезд поля той же светимости. Расчет, произведенный Дж. Хербигом [14], показывает, что для постепенного накопления такого количества медленных звезд в туманностях путем гравитационного захвата их последними, необходимы промежутки времени порядка 10^{11} лет, т.е. во много раз превышающие предполагаемое время существования самих темных туманностей.

Таким образом, можно принять первую рабочую гипотезу, согласно которой звезды класса RW Aur являются сравнительно молодыми, недавно возникшими в районах диффузных туманностей звездами, находящимися в процессе становления. Честационарность их, по-видимому, объясняется процессами, сопровождающими образование звезд. В одной туманности почти одновременно могут возникнуть звезды разных спектральных классов — от О до поздних М, т.е. разных масс.

Вторая рабочая гипотеза, которую мы вправе сделать в дополнение к первой, — это предположение о том, что приведенная нами в табл. I последовательность типов переменных класса RW Aur и сходных с ними объектов является, в основном, эволюционной последовательностью.

Мы уже отмечали, что объекты Хербига-Аро при значительном увеличении светимости их ядер не должны ничем отличаться по виду спектра от звезд типа Т Тельца. Если FU Ori, выбрасывающая водородную оболочку и имеющая в спектре слабую эмиссию в линии H α , разовьет в дальнейшем эмиссионный спектр и покажет неправильные изменения блеска, она ничем не будет отличаться от эмиссионной орионовой переменной Z CMa, также связанной с кометообразной туманностью, или от R CrA.

Эволюция других типов рассматриваемых переменных подсказывается соображениями, основанными на теории гравитационной конденсации газовых шаров. Мы не знаем пока, как возникают и сами диффузные туманности и те центры конденсации в них, которые становятся зародышами звезд. Но коль скоро они возникли, к ним должны быть применимы выводы этой теории, пока, конечно, весьма несовершенной, не учитывающей многих существенных факторов, но тем не менее уже качественно согласующейся с наблюдаемыми явлениями.

Согласно этой теории, время превращения массивного газового сгустка в звезду класса А главной последовательности в 100 раз меньше времени превращения в четыре раза менее массивного сгустка в звезду класса МIV. Этот вывод качественно согласуется с существованием Т-полосы. Массивные звезды ранних спектральных классов образуют уже участки главной последовательности, в то время как менее массивные звезды промежуточных и поздних спектральных классов еще не успели лечь на главную последовательность и, постепенно сжимаясь, приближаются к ней справа, из области субгигантов.

Процесс гравитационной конденсации, по-видимому, осложняется наличием электромагнитных полей и турбулентных движений вещества в сжимающемся газовом сгустке, излучающем энергию. Точно рассчитать сроки эволюции такого сгустка и превращения его в обычную стационарную звезду — пока довольно трудно, так как многие данные еще неизвестны.

Но если принять эту концепцию и попытаться в ее рамках интерпретировать наблюдаемые явления, то нужно признать, что возникающие звезды обладают довольно протяженной хромосферой, спектр которой является основной чертой интегрального спектра звезды. Мощные вспышки, быстрые протуберанцы, — подобные тем, которые наблюдаются теперь в хромосфере Солнца, но протекающие в несравненно больших масштабах, — сопровождают потерю звездой вещества и энергии, ускоряя процесс конденсации. Звезда беспорядочно перемещается по диаграмме Герцшпрунга — Рессела в области Т-полосы (см. рис. 7). Явления, наблюдаемые в спектрах звезд типа Т Тельца, вполне соответствуют этой картине. Можно представить себе далее, что с течением времени бурные процессы в поверхностных слоях этих звезд ослабевают, хромосфера становится менее протяженной, а эмиссионный спектр — менее заметным и постепенно совсем исчезает.

Наряду с физической эволюцией членов ассоциаций, по мере превращения их из переменных типа Т Тельца в эмиссионные орионовы переменные, а затем и в неэмиссионные орионовы переменные, происходит динамическая эволюция ассоциации. Туманность, связанная с нею, постепенно рассеивается, становится менее плотной и менее заметной. Распаду остающейся части туманности, не превратившейся в звезды, способствует излучение возникающих звезд, особенно если среди них появляются массивные горячие объекты. Наблюдения показывают, что это действительно имеет место. В частности, отмечено расширение областей Н II вокруг Трапедии Ориона [27] и λ Ori [28]. Не следует также забывать, что ассоциация, возникшая из диффузной туманности, не изолирована, а находится в общем силовом поле Галактики, что рядом с нею имеются другие звездные образования, что на ее газовую составляющую могут воздействовать внешние (по отношению к ассоциации) электромагнитные поля.

Масса газа в ассоциациях может на несколько порядков превышать массу возникших звезд. Поэтому, если под влиянием перечисленных выше факторов заметная доля газа покинет возникшую ассоциацию, то гравитационная связь между членами системы может настолько умень-

шиться, что наличия небольшой начальной дисперсии скоростей окажется уже достаточно для того, чтобы система начала постепенно расширяться, увеличивая свой объем. Поскольку при этом происходит и рассеивание туманности, то связь орионовых переменных с туманностью становится незаметной. Это значит, что, по определению, мы должны называть их уже не орионовыми, а быстрыми неправильными. Так можно представлять себе превращение орионовых переменных в быстрые неправильные. Большую роль в постепенном расширении ассоциаций должно играть увеличение дисперсии скоростей их членов, обусловленное взаимодействием со звездами поля и звездными скоплениями, а также (на более поздних стадиях развития) — влиянием дифференциального галактического вращения.

Еще совершенно не рассмотрены явления, которые могут сопровождать возможный процесс быстрого гравитационного сжатия очень массивных туманностей.

Ожидаемое при этом быстрое возникновение высоких плотностей и температур должно смениться расширением сжавшегося газового сгустка. Не исключено, что объяснение возникновения звезд следует искать не в процессе спокойной гравитационной конденсации распавшейся на сгустки большой туманности, а в процессах, связанных с ее быстрым сжатием.

Наименее массивные звезды дольше других должны показывать явления, сопровождающие процесс их гравитационной конденсации, что и наблюдается в действительности. Даже в системах, массивные члены которых уже легли на главную последовательность, а наиболее массивные даже начали отходить от нее, в соответствии с теорией эволюции неоднородных звезд постоянной массы, звезды поздних спектральных классов все еще показывают вспышки, как это имеет место в Плеядах.

В соответствии с этой концепцией, особенно детально рассмотренной недавно Дж. Хербигом [29], эмиссионные карлики типа UV Кита, наблюдаемые в окрестностях Солнца, являются бывшими вспыхивающими переменными, выходцами из ассоциаций, т. е. звездами, которые уже успели уйти из ассоциаций, в которых они возникли, но еще не завершили своей физической эволюции и пока не превратились в обычных карликов главной последовательности. Это возможно, так как продолжительность гравитационной конденсации карлика класса M5 V составляет 10^9 лет — срок, за который звезда, покинувшая ассоциацию со скоростью 1 км/сек, может пройти расстояние равное 1000 парсеков. Светимость звезд типа UV Кита уже близка к светимости нормальных звезд, но внутренняя активность приводит к выбрасыванию вещества, часть которого покидает звезду, а часть, обладающая скоростями меньше параболической, образует вокруг нее протяженную оболочку, о наличии которой свидетельствуют эмиссионные линии, постоянно наблюдаемые в спектрах этих звезд.

С уменьшением активности, звезды типа UV Кита, по-видимому, могут превратиться либо в обычных карликов, либо в звезды еще одного переходного типа (UV Cet без эмиссий), существование которого можно пока только подозревать, основываясь на существовании аналогичного типа Inf, к которому, в частности уже принадлежат вспыхивающие переменные в Плеядах.

В связи с гипотезой о превращении переменных класса RW Возничего в обычные звезды, уместно рассмотреть вопрос о реликтовых явлениях, которые не могут не наблюдаться у звезд, прошедших на ранних этапах своего развития стадии, соответствующие различным типам переменности, приведенным в табл.1.

Как уже отмечалось, можно предполагать, что вспышки и другие активные образования в хромосфере Солнца представляют собой слабые следы гораздо более интенсивных процессов, происходивших когда-то в протяженной хромосфере той переменной звезды типа Т Тельца, которой некогда, по-видимому, было Солнце. Спектральные характеристики солнечных вспышек очень сходны с некоторыми особенностями спектров звезд типа Т Тельца и вспышек вспыхивающих переменных. В спектрах солнечных вспышек наблюдается то же сочетание линий высокого и низкого возбуждения и явление непрерывной эмиссии. Можно думать, что путь к разгадке процессов, происходящих в наружных слоях звезд типа Т Тельца, лежит через Солнце. Насколько ничтожнее по своим масштабам солнечные явления, настолько же детальнее они могут быть исследованы.

Орионовы переменные ранних спектральных классов обычно показывают алгоподобные ослабления блеска. Естественно связать эти явления с процессами выброса оболочек. Явление выброса оболочки, сопровождавшее ослабление блеска звезды, как известно, наблюдалось у Плейоны. В рамках изложенной концепции, неправильные переменные ранних спектральных классов типа Плейоны, показывающие очень редкие и небольшие ослабления блеска, вызванные, по-видимому, выбросом оболочки, поглощающей свет звезды, являются предпоследним этапом эволюции орионовых переменных ранних спектральных классов, предшествующим превращению их в звезды постоянного блеска. Напомним, что Плейона — быстро вращающаяся звезда.

Что касается вспыхивающих звезд и звезд типа UV Кита, то уже давно было замечено, что если бы мощная хромосферная солнечная вспышка произошла на поверхности карликовой звезды класса M5, то блеск звезды увеличился бы на 1^m5. Роль подобных вспышек в изменении блеска таких звезд тем более заметна, чем меньше светимость звезды. При анализе особенностей вспышек вспыхивающих переменных и сравнении их с особенностями солнечных вспышек не следует требовать полного сходства во всех деталях этих образований. Для нас важно лишь общее сходство явлений. Нельзя заранее ожидать, что картина развития солнечных вспышек будет в точности совпадать с картиной развития вспышек у карликов типа M. Точно так же различия в масштабах и скорости протекания этих явлений на Солнце и у вспыхивающих переменных ни в коем случае не могут свидетельствовать против единства природы процессов, обуславливающих вспышки на Солнце и у вспыхивающих переменных.

Существование в окрестностях Солнца эмиссионных карликов, гравитационная конденсация которых, по-видимому, еще не закончилась, существование в Плеядах неэмиссионных вспыхивающих переменных поздних спектральных классов, большая дисперсия скоростей неэмиссион-

ных карликов класса М галактического поля по сравнению с дисперсией скоростей звезд dMe (что может свидетельствовать о меньшем возрасте последних по сравнению с возрастом звезд класса dM), — все эти факты естественно укладываются в рамки концепции возникновения звезд путем гравитационной конденсации из диффузного вещества. Поскольку гравитационная конденсация заканчивается тем позже, чем меньше масса гравитирующего сгустка, мы должны ожидать, что признаки ее (в виде процессов звездной активности, сопровождающих переход образующейся, нестационарной, звезды в состояние стационарно излучающей обычной звезды) дольше всего будут наблюдаться у наименее массивных звезд скоплений и ассоциаций, что и имеет место в действительности.

С другой стороны, концепция возникновения звезд из сверхплотных дозвездных тел, концепция, объясняющая переменность блеска звезд типа Т Тельца и UV Кита выносом в наружные слои этих звезд гипотетического дозвездного вещества, выделяющего при этом энергию [30], не может объяснить, почему дозвездное вещество дольше всего выбрасывается на поверхность именно тех звезд, которые обладают наименьшими запасами этого вещества (очевидно, пропорциональными массе звезды).

Исходя из этих соображений, мы считаем, что гипотеза возникновения звезд путем гравитационной конденсации диффузного вещества в настоящее время может объяснить большее количество фактов и лучше согласуется с их совокупностью, чем гипотеза происхождения звезд из гипотетических сверхплотных тел. Поэтому мы и отдаем ей предпочтение. Вместе с тем, мы считаем необходимым еще раз подчеркнуть, что вопрос о происхождении самих диффузных туманностей и образовании в них центров конденсации, становящихся зародышами звезд, безусловно, не может считаться решенным. Именно на его решении должны сосредоточить свои усилия те, кто стремится к открытию новых явлений и законов природы.

Следует остановиться еще на одном аспекте рассматриваемой проблемы, подкрепляющем идею связи между звездной и планетной космогонией.

В последние годы открыта новая любопытная особенность переменных типа Т Тельца, а именно — изобилие лития в атмосферах этих звезд [31, 32, 33]. Процентное содержание лития в атмосферах некоторых звезд типа Т Тельца таково же, как в земной коре и каменных метеоритах, тогда как на Солнце его в 100 раз меньше. Не означает ли это, что Земля возникла на самой ранней стадии существования Солнца и либо унаследовала вещество богатой литием первоначальной обширной оболочки Солнца, либо образовалась из столь же богатого литием вещества диффузной туманности, с которой непосредственно было связано Солнце при своем возникновении? Недавно Д. А. Франк — Каменецкий привел интересные соображения в пользу того, что в молодых звездах, конденсирующихся из газового облака, должны наблюдаться бурные движения, приводящие к образованию ударных волн и переменных магнитных полей, которые ускоряют ядерные частицы в такой степени, что это приводит к "холодным" ядерным реакциям и к холодному синтезу элементов, в частности, лития [34].

С течением времени литий, образовавшийся в поверхностных слоях или имевшийся у возникающих звезд, должен был выгореть, а условия его возникновения — исчезнуть вместе с уменьшением внутренней активности этих звезд. Таким образом, как будто, открывается возможность судить о возрасте звезд по количеству лития, наблюдаемого в их атмосферах. Эта возможность была рассмотрена недавно Дж. Хербигом [35].

В заключение перечислим несколько задач, связанных с проверкой изложенных гипотез и звеньев намечающейся эволюционной последовательности.

1. Поиски, наблюдения и детальное исследование объектов Херби-га-Аро.

2. Поиски групп эмиссионных объектов в диффузных туманностях.

3. Обнаружение и исследование переменности блеска этих объектов.

4. Организация систематических фотоэлектрических и фотографических наблюдений в системе U, B, V, R всех типов переменных звезд класса RW Aur.

5. Решение проблемы нормальных цветов этих переменных.

6. Организация систематических наблюдений спектров этих объектов, с целью изучения их изменений с течением времени, — как по снимкам с объективной призмой (в частности, в области H α), так и по щелевым спектрограммам.

7. Построение сводных кривых блеска переменных класса RW Aur на протяжении больших интервалов времени.

8. Исследование тесных спутников этих переменных.

9. Открытие и исследование вспыхивающих переменных среди слабых членов различных звездных скоплений. Выяснение корреляции между типом скопления и наличием в нем переменных подобного рода.

Литература

1. O. Struve, *Mélanges mathématiques et astronomiques*, **2**, 517-532, 1857.
2. O. Struve, *Mémoires de l'Acad. Imp. des Sciences de St.-Pétersbourg* (7) **5**, № 4, 1862.
3. В. А. Амбарцумян, *АЖ* **26**, 3, 1949; *Изв. АН СССР, сер. физич.*, **14**, 15, 1950.
4. G. P. Bond, *HA* **5**, 1867.
5. G. Müller, E. Hartwig, *Geschichte und Literatur des Lichtwechsels der bis Ende 1915 als sicher veränderlich anerkannten Sterne nebst einem Katalog der Elemente ihres Lichtwechsels*, **1**, 108, 1918, Leipzig.
6. W. Ceraski, *AN* **170**, 339, 1906.
7. C. Payne-Gaposchkin, S. Gaposchkin, *Variable Stars*, Harv. Obs. Mon. № 5, 1938.
8. H. Shapley, *MtW Contr.* № 156, **12**, 1918.
9. A. H. Joy, *ApJ* **102**, 168, 1945.
10. В. А. Амбарцумян, *Звездная эволюция и астрофизика*, Ереван, 1947.
11. C. Hoffmeister, *AN* **278**, 24, 1949.

12. П. Н. Холопов. Труды четвертого совещания по вопросам космогонии, Москва, 1955, стр. 367.
13. G. H. Herbig, *Non-stable stars*, p. 22, 1957, Cambridge Univ. Press, London and New York.
14. G. H. Herbig, *The properties and problems of T Tauri stars and related objects*, *Advances in astronomy and astrophysics*, 1, 47 - 103, 1962, New York.
15. G. Haro, *Top. y Tac. Vol. № 14*, 1956.
16. Сборник "Нестационарные звезды", Ереван, 1957, стр. 183.
17. П. Н. Холопов, *АЖ* 36, 295, 1959.
18. П. Н. Холопов, *АЖ* 36, 434, 1959.
19. П. Ч. Холопов, *АЖ* 35, 434, 1958.
20. Н. М. Артюхина, *АЖ* 36, 832, 1959; 37, 95, 1960.
21. H. L. Johnson, R. I. Mitchell, *ApJ* 128, 31, 1958.
22. П. Ч. Холопов, *ПЗ* 11, № 5, 325, 1958.
23. Б. Е. Маркарян, *Бюракан. сообщ.* № 26, 1959.
24. K.-H. Böhm, *ApJ* 123, 379, 1956.
25. D. E. Osterbrock, *PASP* 70, 399, 1958.
26. M. Walker, *AJ* 68, 298, 1963.
27. T. K. Menon, *ApJ* 127, 28, 1958.
28. C. M. Wade, *AJ* 62, 148, 1957.
29. G. H. Herbig, *Lick Obs. Contr.* № 134, 1962.
30. В. А. Амбарцумян, *Бюракан. сообщ.* № 13, 1954.
31. K. Hunger, *AJ* 62, 294, 1957.
32. W. K. Bonsack, J. L. Greenstein, *ApJ* 131, 83, 1960.
33. W. K. Bonsack, *ApJ* 133, 340, 1961.
34. Д. А. Франк-Каменецкий, *Природа*, № 11, 1963.
35. G. H. Herbig, *AJ* 68, 280, 1963.

Гос. астрономический институт им. П. К. Штернберга,
Москва, декабрь 1963 г.