

УДК 524.338.5

ОБЗОРЫ

ЗВЕЗДЫ ТИПА Т ТЕЛЬЦА* И РОДСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

Л. В. МИРЗОЯН

Поступила 17 апреля 1982

Приводится обзор наблюдательных данных о звездах типа Т Тельца, фуорах, объектах Херbiga—Аро и кометарных туманностях и их обсуждение.

Введение.

Хотя переменность звезды Т Тельца была открыта еще в середине прошлого века, однако изучени звезд типа Т Тельца как особого класса звезд с эмиссионными линиями в спектрах, которые встречаются в туманностях, было начато пионерскими работами Джоя [1, 2] и находится в центре внимания астрономов уже почти сорок лет.

Плодотворный этап изучения этих звезд был начат после установления Амбарцумяном [3, 4] молодости звездных ассоциаций, где формирование звезд продолжается и в настоящее время (подробнее см. [5]). Оказалось, что звезды типа Т Тельца входят в состав звездных ассоциаций и, следовательно, возникли недавно, чем и обусловлена их нестационарность.

Уже первые результаты изучения звезд типа Т Тельца были неожиданными для теории эволюции. В частности, вопреки широко распространенному в то время представлению, выяснилось [6, 7], что часть излучения звезд типа Т Тельца, выделяющаяся в виде непрерывной эмиссии, имеет нетепловую природу.

В последующие годы в результате постепенного признания важного значения изучения звезд типа Т Тельца для проблемы звездной эволю-

* Термин «звезда типа Т Тельца» везде применяется как для звезд, исследованных спектроскопически и показывающих критерии типа Т Тельца (см. в тексте), так и для звезд, характеризующихся неправильными изменениями блеска и расположенных на диаграмме цвет-светимость в области выше и ниже главной последовательности (звезды типа RW Возничего).

ции интерес к этим звездам и к родственным им объектам быстро возрастал.

В настоящем обзоре рассматриваются наблюдательные данные о звездах типа Т Тельца и родственных им объектах (фуоры, объекты Хербига — Аро и кометарные туманности). Результаты, относящиеся к вспыхивающим звездам, эволюционно тесно примыкающим к звездам типа Т Тельца, из-за ограниченного объема обзора, в нем не рассматриваются.

Эти данные обсуждаются на основе наблюдательного подхода к вопросам звездной эволюции (см., например, [8, 9]). В обзоре не затрагиваются результаты исследований, преследующих цель согласования наблюдений звезд типа Т Тельца с теорией эволюции звезд, исходящей из допущения о формировании звезд путем конденсации диффузной материи. Обсуждение наблюдений молодых звездных объектов, основанное на этом подходе, можно найти, например, в обзоре Строма. Стром и Грасдалена [10]^{*}.

Наблюдения.

1. *Звезды типа Т Тельца.* Разнообразными наблюдениями в настоящее время установлена молодость звезд типа Т Тельца. Они представляют собой одну из наиболее ранних стадий развития карликовых звезд, наступающую почти непосредственно после формирования звезды, и все отличия звезд типа Т Тельца от нормальных звезд главной последовательности связаны с этой ранней стадией звездной эволюции.

1.1. *Кривые блеска и цвета.* Кривые блеска звезд типа Т Тельца имеют неправильный характер. Наблюдаемые изменения крайне разнообразны. Это разнообразие проявляется как у разных звезд, так и у одной данной звезды в разные периоды ее активности. Скорость и величина изменений блеска претерпевают большие вариации. Так, например, у звезды Т Тельца, показывающей обычно сравнительно медленные изменения блеска, Хофмейстер [12] наблюдал и быстрые изменения.

Для 22 звезд типа Т Тельца и родственных объектов Коэн и Шварц [13] выполнили синхронные фотоэлектрические наблюдения в оптической (U, B, V, R, I и H_α) и инфракрасной ($\lambda = 2, 3, 5, 8, 10$ и 11 мкм) областях спектра. Из них 13 показали значительные изменения в течение одного дня. Наибольшие изменения наблюдались у RW Aug и у DK Tau. У RW Aug все изменения коррелировали во времени во всех длинах волн, в то время как у DK Tau изменения потока оптического континуума антикоррелировали с изменениями в инфракрасной области и в H_α. В отличие

^{*} Из более ранних обзоров следует отметить обстоятельный обзор Хербига [11], охватывающий период до начала 60-х годов.

от этих случаев наблюдаемые большие изменения в инфракрасной области спектра у Lk H, 198 и NL Tau происходили при относительном постоянстве этих звезд в оптической области.

Результаты этих наблюдений указывают на всю сложность и разнообразие изменений, наблюдаемых у различных звезд типа Т Тельца.

В некоторых случаях быстрые изменения блеска звезд типа Т Тельца имеют характер вспышек. Например, Аро и Чавира [14] и Розинт [15] у некоторых звезд типа Т Тельца, в ассоциациях Ориона и Единорога, наблюдали быстрые изменения блеска, которые не отличались от классических вспышек.

С этой точки зрения, в общем случае, кривые блеска звезд типа Т Тельца могут рассматриваться как результат наложения быстрых и медленных изменений неправильного характера.

В подавляющем большинстве случаев, как правило, амплитуда изменений блеска звезд типа Т Тельца возрастает в сторону коротких длин волн. Наблюдаются, однако, и отклонения от этого правила. Например, Венцель [16] наблюдал периодические изменения блеска самой звезды Т Тельца, возрастающие по амплитуде к длинноволновой части спектра. Такую же обратную зависимость между величинами потоков в визуальной и ближней инфракрасной ($\lambda = 3.5$ мкм) областях спектра для этой же звезды обнаружил Коэн [17].

Согласно UVV фотоэлектрическим наблюдениям звезд типа Т Тельца, выполненным Зайцевой [18], показатели цвета $U-B$ и $B-V$ в зависимости от блеска звезды изменяются по-разному. В некоторых случаях эти изменения находятся в прямой зависимости от видимого блеска звезды, в других случаях — в обратном и, наконец, имеются случаи, когда эти изменения происходят при постоянном цвете излучения звезды.

Об отсутствии строгой функциональной зависимости между изменениями мощности излучения звезд типа Т Тельца в различных областях спектра свидетельствуют и результаты уже отмеченного исследования Коэна и Шварца [13].

Амбарцумян [19], исходя из неправильного характера кривых блеска звезд типа Т Тельца, высказал идею о том, что наблюдаемая неправильность является свидетельством того, что в процессах, ответственных за изменения блеска, случайный фактор или факторы играют существенную роль.

Наблюдательные данные о кривых блеска звезд типа Т Тельца, вероятно, подтверждают это представление. Например, Лукацкая [20], используя длительные фотографические наблюдения семи звезд этого типа, определила их автокорреляционные и спектральные функции, которые типичны для случайных процессов.

По-видимому, характер случайного процесса носят не только значительные изменения блеска, но и небольшие колебания, поскольку из фотоэлектрических наблюдений Куана [21] четырех звезд типа Т Тельца удалось обнаружить неправильные ультрафиолетовые фотометрические флуктуации блеска этих звезд за время порядка одной минуты.

Следует отметить, однако, что кривые блеска звезд типа Т Тельца могут дать правильную информацию о параметрах случайных процессов, приводящих к наблюдаемым изменениям блеска, когда они основаны на продолжительных и, по возможности, непрерывных наблюдениях высокой точности.

К сожалению, длительные и непрерывные фотоэлектрические наблюдения звезд типа Т Тельца в настоящее время отсутствуют. Поэтому все статистические исследования кривых блеска этих звезд основаны лишь на фотографических наблюдениях. Поскольку эти наблюдения часто не являются непрерывными, то приходится делать то или иное предположение для восстановления полной кривой по случайно распределенным во времени ее кускам. Остается открытым вопрос: является ли этот процесс стационарным, могут ли отдельные части кривой блеска, хотя и приближенно, повторяться?

1.2. Спектры. Линейчатые спектры звезд типа Т Тельца в видимой части спектра характеризуются наличием сильных эмиссионных линий бальмеровской серии водорода, H и K ионизованного кальция (Ca II), а также эмиссионных линий λ 4063 и 4132 нейтрального железа (Fe I). Наблюдаются и некоторые другие эмиссионные линии [22]. В общем, эмиссионный спектр звезд типа Т Тельца напоминает спектр солнечной хромосферы.

Для образования наблюдаемых в спектрах этих звезд эмиссионных линий требуются более высокие температуры, чем те, которые соответствуют спектральным классам звезд типа Т Тельца, определяемым из их абсорбционных спектров.

Среди эмиссионных линий, наблюдаемых в спектрах звезд типа Т Тельца, имеются иногда линии, например, λ 4686 He II, формирование которых возможно только при еще более высоких температурах ($\sim 50\,000$ K).

Наблюдения, выполненные в последние годы с помощью спутника IUE, привели к новому неожиданному результату. Оказалось, что в спектрах звезд типа Т Тельца, в области λ 1150—3000, присутствуют очень сильные эмиссионные линии высокого возбуждения, CIV, Si IV и др., которые могли бы возникнуть при температурах еще более высоких — порядка 100 000 K. Такие линии были обнаружены в спектрах RU Lup, Гаамом

и др. [23], S СтА, Аппенцеллером и Вольфом [24], RW Aug, Имгоффом и Джампапа [25].

Эти наблюдения свидетельствуют о том, что эмиссионный спектр всех трех упомянутых звезд типа Т Тельца и в далеком ультрафиолете напоминает спектр солнечной хромосферы. Однако потоки излучения в этих линиях у звезд типа Т Тельца на несколько порядков больше, чем у Солнца. Правда, во время этих наблюдений не были обнаружены эмиссионные линии NV и He II, характерные для протяженной хромосферы. Тем не менее, несколько позже Аппенцеллер и др. [26], с помощью спутника IUE наблюдая другие звезды типа Т Тельца DR Tau, CoD — 35°10525 и AS 205, обнаружили также линии NV и He II.

Абсорбционные спектры звезд типа Т Тельца указывают на спектральные классы F-M и классы светимости IV-V. От спектров нормальных звезд главной последовательности эти спектры отличаются большей шириной абсорбционных линий (см., например, [22]).

Характерным для спектров звезд типа Т Тельца является присутствие в них сильной абсорбционной линии нейтрального лития (λ 6707 Li I). Впервые на эту особенность спектров звезд типа Т Тельца обратили внимание Бонсак и Гринстейн [27], которые показали, что отношение содержания лития к содержанию металлов у этих звезд превышает то же отношение для Солнца в 50—400 раз.

Выдающейся особенностью непрерывного спектра звезд типа Т Тельца является наличие в нем необычно сильного коротковолнового непрерывного излучения или непрерывной эмиссии [6, 28].

Джой [29] первым обратил внимание на то, что линии поглощения в спектрах звезд типа Т Тельца часто вавулируются непрерывной эмиссией, причем иногда полностью. Например, из-за непрерывной эмиссии в спектре звезды типа Т Тельца, DD Tau, линии поглощения во время наблюдения Струве и Свингса [30] были почти полностью завуалированы. Сильное завуалирование линий поглощения интенсивным непрерывным излучением, простирающимся далеко в ультрафиолет, в спектре другой звезды типа Т Тельца DN Tau наблюдал Джой [2]. Полное заливание линий поглощения в видимой части спектра VY Ori и YY Ori наблюдал Уокер [31].

Характерной для непрерывной эмиссии является, как показали Аро и Хербиг [32], ее переменность во времени.

Согласно исследованию Хербига [33] непрерывную эмиссию можно разделить на синий (λ 4500—3700) и ультрафиолетовый ($< \lambda$ 3700) избытки. Так, например, исследование Кухи [34], основанное на наблюдениях 36 звезд типа Т Тельца, с помощью сканирующего спектрофотометра, показало, что распределение энергии в непрерывном спектре в области

л. 5500—7500 практически совпадало (с учетом поглощения) с этим распределением для нормальной звезды главной последовательности. В то же время, начиная с λ 4500 (а у звезд с интенсивными эмиссионными линиями еще раньше), интенсивность непрерывного спектра возрастала в сторону коротких длин волны (появился «синий избыток»), а, начиная с λ 3700, интенсивность в континууме возрастала еще сильнее (появился «ультрафиолетовый избыток»).

1.3. *Результаты ИК- и радионаблюдений.* Сильное отклонение распределения энергии в непрерывном спектре звезд типа Т Тельца от распределения для нормальных звезд тех же спектральных классов имеет место и в инфракрасной области спектра. В этой области спектра звезд типа Т Тельца Мендозой [35, 36] обнаружены сильные избытки излучения. Даже в длинах волн ближайшей инфракрасной области (1—5 мкм) звезды типа Т Тельца излучают значительно больше, чем можно было ожидать на основе распределения энергии в их оптическом непрерывном спектре. Инфракрасные избытки излучения в области до 22 мкм для большого количества звезд типа Т Тельца обнаружил Коэн (см., например, [17, 37]).

Наблюдаемые инфракрасные избытки излучения звезд типа Т Тельца Лоу и Смит [38] объяснили существованием вокруг этих звезд пылевых оболочек, которые переизлучают их ультрафиолетовое и видимое излучение в ИК-области спектра. При справедливости этой интерпретации следует считать, что реальные «синие» и «ультрафиолетовые» избытки излучения звезд типа Т Тельца на самом деле значительно больше их наблюдаемых значений.

Наличие вокруг звезд типа Т Тельца пылевых оболочек проявляется также в поляризации их оптического излучения. Собственная поляризация у звезд этого типа Т Тау и RY Тау была впервые обнаружена Вайданяном [39] в 1964 г. В последующем наличие собственной поляризации оптического излучения звезд типа Т Тельца было подтверждено многими исследованиями (см., например, [40, 41]).

Гётц [42] обнаружил линейную корреляцию между средним классом интенсивности в эмиссионной линии H α в спектрах звезд типа Т Тельца и величиной околосредней экстинкции, свидетельствующую, по-видимому, о том, что отношение газа и пыли в околосредней оболочках этих звезд почти одинаково.

Радиоизлучение молекулы CO на длине волны 3.4 мм от двух звезд типа Т Тельца Т Тау и RMOп было обнаружено Вильсоном и др. [43]. Возможно, что это радиоизлучение обусловлено излучением околосредней газовой оболочек, так как радиоизлучение идет от довольно протяженных источников.

Наличие сантиметрового радиоизлучения у звезд Т Тау и Lk H, 101 обнаружили Спенсер и Шварц [44]*.

В последнее время большими радиотелескопами удалось обнаружить случаи слабых потоков от звезд типа Т Тельца [45]. Для самой Т Тау наблюдения на 6-см указывают на несимметричное (нерадиальное) распределение ионизованного газа. Короткоэкспозиционные оптические снимки находятся в согласии с этой картиной. Характерны в этом смысле радионаблюдения темного облака Линдс 1551, где обнаружена вероятная Т Тау звезда, из которой выходит биполярное истечение (СО).

Недавно удалось обнаружить, что в некоторых звездах типа Т Тельца холодные (200—300 К) излучающие частицы (песчинки) пыли состоят из силикатоподобного материала [45].

С помощью самолетной обсерватории «Кайпер» были проведены исследования нескольких звезд типа Т Тельца в области 50—200 мкм. Имеются свидетельства о существовании пыли, даже еще более холодной, чем пыль, обнаруженная наблюдениями на 10 мкм. В некоторых случаях пыль образует протяженный источник [45].

1.4. Рентгеновское излучение. За последние годы наряду с оптическими и инфракрасными наблюдениями были выполнены внеатмосферные наблюдения звезд типа Т Тельца в рентгеновской области спектра.

Первую звезду типа Т Тельца, обладающую рентгеновским излучением, открыл Гаам [46]. Из 8 звезд этого типа, наблюдаемых им с помощью обсерватории «Эйнштейн» в области мягкого рентгена, одна звезда оказалась источником рентгеновского излучения.

Далее, наблюдения 28 звезд типа Т Тельца в области мягкого рентгена, выполненные Файгельсоном и ДеКампли [47] с помощью этого же спутника, привели к обнаружению мягкого рентгеновского излучения у 8-и из них. При этом оказалось, что одна из этих звезд, DG Тау, является сильно переменным рентгеновским источником, что свидетельствует о том, что, по крайней мере в этом случае, рентгеновское излучение возникает недалеко от фотосферы звезды.

Еще от 8 известных звезд типа Т Тельца рентгеновское излучение зарегистрировано Вальтером и Кухи [48]. Интересно отметить, что рентгеновское излучение позволило им открыть две звезды типа Т Тельца, ранее неизвестных.

Таким образом, при наблюдениях около 50 звезд типа Т Тельца в рентгеновском диапазоне с помощью обсерватории «Эйнштейн» более од-

* Позже у этих звезд радиоизлучение наблюдали Алтенгофф и др. [145], Шварц и Спенсер [146] и другие. Совсем недавно радиоизлучение на волне 6 см от этих звезд, а также V 410 Тау и DG Тау было зарегистрировано Коэном и др. [147].

ной трети из них оказались источниками рентгеновского излучения, превышающего по интенсивности порог чувствительности аппаратуры.

Сравнение результатов наблюдений одних и тех же звезд типа Т Тельца, выполненных указанными авторами в разное время, дает основание допустить, что рентгеновское излучение звезд этого типа переменное.

Вместе с этим, исследование Вальтера и Кухи [48] свидетельствует, по-видимому, о том, что рентгеновский поток от звезд типа Т Тельца находится в обратной корреляции с интенсивностью эмиссионных линий в оптическом спектре: чем сильнее эмиссия в линии H_{α} , в среднем, тем слабее поток излучения в рентгене.

1.5. *Спектральные изменения.* Переменность звезд типа Т Тельца ярко проявляется при их спектральных наблюдениях.

Наблюдения звезды Т Тау, выполненные Уестоном и Аллером [49] еще в 1948—52 гг., свидетельствовали о довольно быстрых изменениях в спектральных линиях: бросающихся в глаза — за сутки, а меньших, но реальных — за время, порядка нескольких часов.

Позже, еще более быстрые, за время порядка всего одного часа, изменения эмиссионных линий в спектрах звезд RW Aug, Т Тау и RY Тау были обнаружены Исмаиловым (см., например, [50]). Эти изменения выражаются в изменениях контуров линий, которые всегда асимметричны, а иногда расщепляются на несколько компонентов.

В результате неправильных изменений линейчатого спектра звезды изменяется спектральный класс звезды. Так, например, Гётц и Венцель [51] наблюдали изменение спектрального класса самой Т Тау в довольно широком диапазоне: от F до K, без четкой корреляции с другими параметрами звезды.

Существенные изменения в спектре RW Aug, особенно большие в его коротковолновой части, наблюдали Харадзе и Бартая [52], Казарян и автор [53] и Шалонж и др. [54].

Шалонж и др. [54] наблюдали обратную зависимость между интенсивностью эмиссионного спектра и блеском RW Aug. В спектре, полученном при наибольшем блеске звезды, наблюдались более сильные абсорбционные линии, а бальмеровский скачок был абсорбционным. В противоположность этому, спектры, полученные при блеске на 1^m слабее, содержали более интенсивные эмиссионные линии, в том числе бальмеровские. В соответствии с этим бальмеровский скачок был эмиссионным.

Активность или степень нестационарности звезд типа Т Тельца можно характеризовать, почти полностью, интенсивностью наблюдаемой непрерывной эмиссии. Естественно поэтому считать, что наиболее активные звезды типа Т Тельца имеют и более интенсивные ультрафиолетовые континуумы.

Поиски Аро и Хербига [32] привели к открытию звезд типа Т Тельца, имеющих необычно высокую яркость в ультрафиолетовой области спектра, в ассоциациях Орион 1 (вокруг Трапеции) и Единорог 1 (NGC 2264). Они составляют около $1/5$ часть от полного числа известных звезд типа Т Тельца в указанных ассоциациях.

Следует добавить несколько слов о параметрах ассоциаций, содержащих звезды типа Т Тельца (см., например, [9]).

1.6. *Т-ассоциации.* Амбарцумян [3, 4] первым обратил внимание на концентрацию звезд типа Т Тельца в физические группировки — Т-ассоциации и рассмотрел этот факт как результат группового их формирования в ассоциациях. В некоторых случаях Т-ассоциации входят в состав О-ассоциаций (О + Т-ассоциации). Таковыми являются, например, ассоциации Орион 1 и Единорог 1.

Т-ассоциации имеют размеры от нескольких пс до нескольких десятков пс и содержат от десятков до нескольких сотен звезд типа Т Тельца. Они генетически связаны с облаками диффузной материи — газа и пыли и образуют плоскую подсистему (средняя Z -координата для них около 50 пс).

Возраст Т-ассоциаций не превышает 10^7 лет, однако обычно он гораздо меньше.

Звезды, входящие в Т-ассоциации различного возраста, отличаются по некоторым наблюдаемым характеристикам, а сами ассоциации — по содержанию молодых объектов разного класса. Например, согласно Коэн [55], чем старше Т-ассоциация, тем меньше в ней звезд с интенсивным эмиссионным спектром. Об этом свидетельствует обнаруженное им различное распределение звезд по классам интенсивности эмиссионного спектра в Т-ассоциациях.

Наблюдения, выполненные в далекой инфракрасной области спектра Коэном [56], Нейком и др. [57], показали, что с возрастом Т-ассоциации уменьшаются и инфракрасные избытки излучения звезд, входящих в эти системы. Это значит, что со временем либо уменьшается количество пыли в ассоциации, либо меньшая часть пыли остается в непосредственной окрестности индивидуальных звезд, распределяясь по всему объему ассоциации.

2. *Фуоры и фуороподобные объекты.* Для изучения ранних стадий эволюции звезд значительный интерес представляют звезды типа FU Ориона, названные Амбарцумяном фуорами [58]. Само явление фуора заключается в том, что в результате каких-то, пока невыясненных, причин мощность излучения звезды в видимой области спектра за короткое время (порядка нескольких месяцев) сильно возрастает, а ее спектр из спектра звезды-карлика преобразуется в спектр звезды высокой светимости.

Причем, после возгорания блеск звезды претерпевает лишь небольшие изменения, оставаясь долго (по меньшей мере в течение десятилетий) на высоком уровне, примерно на два порядка превосходящем блеск до возгорания.

2.1. *Первый фуор — FU Ori.* Первой звездой, у которой наблюдалось такое явление, явилась уникальная, в течение более четверти века, переменная звезда FU Ori, от названия которой и возникло слово «фуор». Она наблюдается в центре темной туманности Барнард 35 и связана с яркой кометарной туманностью, характерной для звезд типа Т Тельца. Этот факт и другие особенности излучения FU Ori дали основание говорить о родственной связи ее со звездами типа Т Тельца [58].

Блеск FU Ori, равный 16^m , в 1936 г. внезапно начал возрастать и за четыре месяца достиг 10^m . В дальнейшем, в течение двух лет блеск звезды упал на 1^m , после чего она имеет почти постоянный блеск (см., например, [59]). Следовательно, мощность оптического излучения FU Ori после ее возгорания в течение последних 45 лет примерно в 100 раз превышает мощность излучения этой звезды до 1936 г.

Спектр FU Ori до возгорания или «вспышки» не был известен, однако после «вспышки» подробно был изучен Хербигом [60].

Кстати, в дальнейшем мы будем избегать в отношении рассматриваемых звезд термина «вспышка», поскольку этот термин повсеместно применяется к объектам, которые после достижения максимума блеска в обозримое время, измеряемое часами или днями, возвращаются к минимуму.

По линиям поглощения он соответствует спектральному классу F2 I—II, то есть эта звезда высокой светимости. Имхофф и Мендоза [61] обнаружили у FU Ori небольшой ИК-избыток излучения.

В спектре FU Ori линия K Ca II наблюдается в эмиссии. Наблюдается и слабое эмиссионное крыло у линии H α . Смещение абсорбционных линий к коротковолновой части спектра свидетельствует об истечении газовой материи с поверхности звезды. Очевидно, истекающая материя образовала расширяющуюся газовую оболочку вокруг звезды, спектр которой накладывается на спектр звезды.

В этом спектре присутствует также интенсивная абсорбционная линия λ 6707 Li I, характерная для звезд типа Т Тельца.

2.2. *Lk H, 190 = V 1057 Cyg.* Для понимания явления фуора и определения места фуоров в общей цепи развития звезд очень большое значение имело обнаружение в конце 1969 г. Велином [62] аналогичных изменений у звезды 16^m V 1057 Cyg, расположенной в очень плотном пылевом облаке в H II области NGC 7000.

До возгорания эта звезда входила в список звезд, имеющих H_ε-эмиссию в спектре — Lk H, 190 [63]. Переменность ее блеска была обнаружена Венцелем (см. [64]). Спектр, полученный в 1957 г. в августе Хербигом [63], показывает типичные для звезды типа Т Тельца эмиссионные линии балмеровской серии водорода, ионизованного кальция, а также нейтрального и однажды ионизованного железа. Поярчение V 1057 Суг началось в июне 1969 г. Через около 300 дней звезда достигла максимума блеска на два порядка более яркого, чем до возгорания.

Сопоставление кривых блеска FU Ori и V 1057 Суг показывает большое их сходство: в обоих случаях наблюдалось явление фуора, когда мощность излучения звезды за короткое время сильно возрастала, после чего оставалась на уровне, лишь немного ниже достигнутого максимума.

Спектр звезды V 1057 Суг в результате возгорания сильно изменился. В марте 1971 г. она имела, согласно наблюдениям Хербига и Харлана [65], спектральный класс A1 и светимость более высокую, чем у звезды главной последовательности, а уже в мае 1972 г., по Гааму и Велину [66], спектр оценивался F 0.5 III. Эмиссионные линии H_γ и H_β и K Ca II имели абсорбционные компоненты, смещенные в сторону коротких длин волн, что указывало на истечение материи и образование расширяющейся газовой оболочки. Наконец, V 1057 Суг, как и другие звезды типа Т Тельца, выделяется избыточным содержанием лития.

Спектральные наблюдения V 1057 Суг, выполненные Шалонжем и др. [67] в 1971—73 г., свидетельствуют о появлении вокруг звезды после ее возгорания поглощающей водородной оболочки. Спектральный класс V 1057 Суг в этот период, по классификации BCD [68], был B6 III—B9 IV [67].

После возгорания V 1057 Суг обладала большим избытком излучения в области 10—20 мкм (см., например, [69]).

У фуора V 1057 Суг дважды были наблюдаемы вспышки в радиолинии 1720 МГц молекулы OH. Первую такую вспышку в 1973 г. наблюдали Ло и Бечис [70], а вторую вспышку, в 1979 г., — Виннберг и др. [71].

2.3. *О стадии фуора.* Как указывает Хербиг [64], спектры FU Ori и V 1057 Суг в тонких деталях являются пекулярными. В частности, спектральный тип V 1057 Суг, определенный в области λ 3900—4300, систематически более ранний, чем тип, определенный по линиям области λ 6000—6600.

К классу фуоров принадлежит и звезда V 1515 Суг [64]. Хотя кривая блеска этого объекта существенно отличается от кривых блеска FU Ori и V 1057 Суг по скорости возгорания, он проявляет все признаки, характерные для фуоров [64].

На V 1515 Cyg впервые обратил внимание Хербиг [72] в 1954 г. при обзоре H_α-эмиссионных звезд около отражательной туманности NGC 6914. Объект оказался ярче на 3^m по сравнению со снимком, полученным в 1912 г. В 1974 г. спектрограммы V 1515 Cyg, полученные в Ликской обсерватории [64], выявили сходство этого спектра со спектром FU Ori: спектр типа G высокой светимости имел P Cyg-структуру линии H_α и сильную линию поглощения λ 6707 Li I. При этом звезда была ярче, чем в 1954 г.

В 1975—76 гг. упомянутые выше фуоры имели следующие спектральные типы [64]:

FU Ori — F5 — G0p1,

V 1515 Cyg — G0 — G2I,

V 1057 Cyg — G2 — G5I — II.

Таким образом, все рассматриваемые фуоры после возгорания блеска показывают некоторое сходство по спектральным признакам: спектральный класс F—G звезды высокой светимости (Ib—II), несколько размытые линии поглощения, присутствие линии λ 6707 Li I, по интенсивности соответствующей звездам типа T Тельца, коротковолновые компоненты линий H_α и D₁₂ NaI, обусловленные околосредной оболочкой, и профиль типа P Cyg у линии H_α. Для этих объектов характерны также особенности, обычно встречающиеся у звезд типа T Тельца: инфракрасный избыток и связь с пекулярными отражательными туманностями. Наконец, светимости известных фуоров в минимуме блеска сравнимы со светимостями звезд типа T Тельца наиболее высокой светимости [64].

Открытие возгорания V 1057 Cyg подтвердило предполагавшуюся ранее [6] генетическую связь между фуорами и звездами типа T Тельца и явилось решающим свидетельством связи явления фуора с ранними стадиями развития звезд. Оно показало, что явление фуора встречается у звезд типа T Тельца, возможно, наиболее активных [64].

Эта стадия эволюции характеризуется сходством процессов, сопровождающих возгорание фуора, с процессами, наблюдаемыми у P Cyg, а также изменением спектра звезды в сторону более ранних спектральных классов. В результате явления фуора фактически появляется объект высокой светимости.

Существенной особенностью стадии фуора является ее небольшая продолжительность. Если стадии эволюции типа T Тельца и вспыхивающей звезды продолжают миллионы и более лет, то стадия фуора, насколько ее длительность можно оценить из сравнения частоты наблюдаемых возгораний с грубо оцененным верхним пределом количества наблюдаемых звезд с соответствующими спектрами (см. также [58]), может

продолжаться не более 1000 лет. Правда, не исключена возможность, что эта фаза рекуррентная, т. е., что через эту фазу молодая звезда проходит несколько раз.

Основной вывод, который можно сделать из спектральных и фотометрических данных, связанных с процессом возгорания фуора, сводится к тому, что при возгорании возникает новая более горячая фотосфера с радиусом, превосходящим, по крайней мере, в несколько раз радиус первоначального состояния звезды.

Это значит, что имело место выбрасывание вещества, причем неясно, является ли наблюдаемая фотосфера статичной или она представляет собой некоторый слой в стационарном потоке вещества, истекающем из звезды.

В пользу большой сложности динамики всего явления говорят и различия вокруг фотосферы газового слоя, вызывающего поглощение [67].

2.4. Фуороподобные объекты. Пример фуора V 1515 Cyg показывает, что скорость возрастания блеска не всегда одинакова. Значительные различия наблюдаются и в других параметрах излучения классических фуоров. Например, в исследовании Шалонжа и др. [67] обнаружены заметные различия в спектрах фуоров V 1057 Cyg и FU Ori, особо большие в ультрафиолетовой области, после бальмеровского скачка.

Более того, хотя все три известных фуора имеют почти одинаковую светимость, явление фуора, как полагает Амбарцумян [73], может произойти у звезд, сильно отличающихся друг от друга по своей светимости, по крайней мере в максимуме блеска, начиная от сверхгигантов до карликов.

Наблюдения действительно показывают, что, наряду с классическим фуором — FU Ori, V 1057 Cyg и V 1515 Cyg, которые в максимуме блеска имели абсолютную фотографическую величину $-1 \div -2$ [64], существуют и объекты, которые по поведению напоминают фуоры, однако после возгорания блеска обладают сильно отличающимися светимостями.

2.5. Фуороподобные объекты высокой светимости. Интересным примером фуороподобных объектов, по мнению Амбарцумяна [58], является знаменитая звезда P Cyg, которая до периода возгорания блеска не наблюдалась невооруженным глазом.

P Cyg впервые наблюдалась в 1600 г. как объект, имеющий яркость около 3^m . До этого, из-за слабости, она не была доступна наблюдению невооруженным глазом. С тех пор звезда несколько ослабла и в настоящее время является звездой пятой величины с почти постоянным блеском.

Кривая блеска P Cyg за весь период после возгорания в 1600 г. весьма напоминает кривые блеска известных фуоров. При этом интенсивность

излучения Р Суг на нынешней фазе развития находится на значительно более высоком уровне, чем до поярчения.

Звезда Р Суг является прототипом звезд, в спектрах которых наблюдаются абсорбционные компоненты эмиссионных линий с ультрафиолетовой стороны. Такое своеобразие профилей линий в спектре дало основание допустить, что вокруг звезды имеется расширяющаяся газовая оболочка, которая непрерывно заполняется за счет постоянно истекающей с поверхности звезды материи.

В свою очередь, резкий подъем блеска в 1600 г. и спектральные признаки истечения материи с поверхности звезды явились основой для вывода о том [58], что в указанный период со звездой произошло явление, характерное для фуоров.

Спектр Р Суг в видимой части содержит более сотни линий с характерными для нее профилями. Этим она отличается от известных нам фуоров, спектр которых несравненно более беден в этом отношении. Еще более важное отличие Р Суг от них заключается в ее очень высокой светимости. В то время, как известные нам фуоры имеют светимости, соответствующие фотографической абсолютной величине, равной около -2 , светимость Р Суг в несколько десятков раз больше (см., например, [74]). Р Суг, очевидно, является своеобразным сверхфуором, который в результате резкого возгорания блеска ознаменовал появление звезды очень высокой светимости. Если это так, то можно считать, что такова же природа многочисленных других звезд типа Р Суг, наблюдаемых в нашей Галактике, в Магеллановых Облаках и в других звездных системах.

Другой пример такого класса — объект № 12, обнаруженный Элиасом [75] при исследовании темных облаков IC 5146 в инфракрасной области спектра (на 1.6 и 2.2 мкм). Этот объект имел (после 1965 г., как выяснилось позже) блеск, равный около 15^m в красных лучах, однако отсутствует на красной карте Паломарского атласа, полученной в 1952 г., где есть раньше (в период этих наблюдений) был слабее 20^m . Это означает, что амплитуда возрастания блеска была больше 5^m . Наблюдения объекта № 12, выполненные в течение почти трех лет после его обнаружения, на длине волны 2.2 мкм, не показали каких-либо существенных изменений его блеска.

На спектре объекта № 12, полученном в 1976 г. [75], единственной выделяющейся особенностью была линия H₁ в поглощении, что позволяет допустить, что это объект раннего спектрального класса и высокой светимости. В то же время эта линия казалась смещенной к ультрафиолету, что, возможно, свидетельствует о наличии у нее неразрешенного профиля типа Р Суг.

Наконец, инфракрасный спектр объекта № 12 около 2 мкм был похож на инфракрасные спектры классических фуоров. В нем также наблюдаются сильные полосы поглощения CO и H₂O, и сходное распределение энергии [76].

Все это дало основание Элиасу [75] приписать объект № 12 к классическим фуорам. Не исключена, однако, возможность, что и в этом случае, как в случае P Суг, имело место явление фуора с большей амплитудой, и в итоге появился объект более высокой светимости, чем классические фуоры.

2.6. *Фуороподобные объекты низкой светимости.* Встречаются, однако, фуороподобные объекты, светимость которых значительно уступает светимости классических фуоров.

Таким фуороподобным объектом, по всей вероятности, является звезда СПЗ 2246 (V 350 Сер), обнаруженная Гюльбудагяном и Саркисяном [77] севернее туманности NGC 7129, типичный карлик по светимости, оцениваемая (после подъема блеска) $M = +3 \div +6$. Только на красной карте Паломарского атласа она оставила слабый след, а на синей карте эта звезда вообще не видна.

На снимках, полученных в период август 1977 г.— январь 1978 г., звезда (V 350 Сер) имела почти постоянный блеск, равный около 17.5 в красных лучах. Это превышает блеск звезды на красной карте Паломарского атласа более чем на 3^m5 [77].

Имеются основания допустить [78], что блеск звезды возрос на эту величину лишь в последнее время и держится на этом максимальном уровне. О сходстве V 350 Сер с фуорами свидетельствует также ее расположение в области с большим поглощением, где имеется значительное число объектов Хербига—Аро, звезд с H α -эмиссией в спектрах и кометарных туманностей. В спектре V 350 Сер, согласно [78], имеются эмиссионные линии водорода (H α) и ионизованного азота (запрещенные линия λ 6542 и 6575), причем линия H α проявляет сильную и быструю переменность, напоминающую переменность, наблюдаемую в спектрах звезд типа Т Тельца (см., например, [50]). Звезда V 350 Сер близка к звездам типа Т Тельца и по светимости.

Фуороподобное поярчение блеска звезды DR Тау, типа Т Тельца, обнаружил Чаваррия-К [79]. Блеск этой звезды в синих лучах возрос, начиная с 1970 г., на 3^m5—5^m0. Этот факт был подтвержден Гетцем [80], на основе наблюдений, выполненных за период 1952—80 гг.

Согласно исследованию Берту и др. [81] DR Тау имела богатый эмиссионный спектр, причем эмиссионные бальмеровские линии обладали сложной структурой и показывали сильную переменность. Наблюдались также быстрые неправильные изменения синего континуума.

Удивительную особенность в спектре звезды DR Тау обнаружили Крауттер и Бастиан [82]. Оказалось, что на одной и той же спектрограмме DR Тау наряду с линиями, обладающими профилями типа P Cyg (H_1 , H_2 и др.), имеются профили типа анти-P Cyg (бальмеровские линии с $l \geq 10$).

В отличие от классических фуоров DR Тау в период возгорания блеска показывала большие изменения. Вместе с этим полная ее светимость значительно уступает светимости фуоров. Поэтому следует считать ее фуороподобным объектом, пережившим явление фуора. Тот факт, что DR Тау принадлежит к типу T Тельца, еще раз свидетельствует в пользу представления о том, что явление фуора может иметь место на ранних стадиях эволюции звезды.

Фуороподобным объектом является, по-видимому, также звезда, расположенная в вершине кометарной туманности, GM-1-29, переменность которой была обнаружена Гюльбудагяном и Амирханяном [83]. На карте Паломарского атласа виден только очень слабый след этой звезды (PV Сер), однако по оценкам последнего времени ее блеск равен $\sim 17^m$ (см., например, [78]). Таким образом, после возгорания блеск звезды возрос примерно на 4^m .

Возрастание блеска этой звезды было отмечено независимо Коэном и др. [84]. Непрерывный спектр звезды PV Сер, согласно исследованию [84], соответствует классу A5V, а абсолютная величина $M_V = 0$. Наблюдения 1977 г. показали [78], что блеск звезды переменный. В спектре PV Сер в эмиссии наблюдаются линии H $_{\alpha}$ и H $_{\beta}$, запрещенные линии кислорода и ионизованного железа. Во многих отношениях она напоминает звезды типа T Тельца [85].

Фуороподобными объектами можно считать и объекты Хербига—Аро, сгущения в которых, как показывает пример объекта H-H2, также иногда показывают резкое появление блеска, но обладают очень низкой светимостью. Их абсолютная звездная величина составляет всего $+10^m$ (см., например, [86]).

Таким образом, явление фуора — внезапное, сильное возгорание блеска, характерное для крайне ранних стадий эволюции звезд и приводящее к образованию звезд с новыми особенностями, — довольно распространенное явление и встречается у объектов весьма разной светимости ($M_V \approx +10 \div -6$). Фуоры и фуороподобные объекты наблюдаются крайне редко, по-видимому, только из-за небольшой продолжительности этой стадии эволюции звезд. Существование фуороподобных объектов, по своей светимости сильно отличающихся от классических фуоров, для проблемы эволюции звезд, как впервые отметил Амбарцумян [58], имеет исключительно большое значение.

3. Объекты Хербига—Аро.

3.1. *Общие свойства.* В начале 50-х годов во время наблюдений области Ориона Аро [87] и Хербиг [88] обратили внимание на существование диффузных образований, имеющих довольно неправильную форму, эмиссионный спектр и содержащих обычно звездообразные сгущения. Находятся эти объекты в областях темных туманностей. В спектрах этих образований наблюдаются очень слабый континуум и сильные эмиссионные линии.

Согласно Бему [89], наиболее выдающимися спектральными особенностями объектов Хербига—Аро являются:

1. Большие потоки в линиях нейтральных атомов, в особенности [OI] λ 6300 и 6364, причем линия λ 6300 часто сильнее $H\gamma$.

2. Высокая интенсивность линий [Si II]: λ 6717/31 и 4068/76.

3. Одновременное присутствие разрешенных (H и K) и запрещенных (λ 7291 и 7324) линий Ca II.

4. Присутствие большого числа слабых и умеренно сильных линий [Fe II] и [Fe III].

Непрерывный спектр объектов Хербига—Аро очень слабый, но он реально существует (см., например, [90]).

Сходство спектров объектов Хербига—Аро со спектром туманности Бурихама вокруг самой Т Тау (см., например, табл. 18 в [9]). Яркость «звезд», находящихся внутри этих туманных образований, уступает яркости соответствующей туманности. Только в случае Т Тау наличие центральной звезды внутри туманности не подлежит сомнению.

Сходство спектров объектов Хербига—Аро со спектром туманности, связанной со звездой Т Тау, и радикальные изменения, обнаруженные Хербигом [86] в одном из объектов этого класса, свидетельствуют о состояниях крайней физической нестационарности.

3.2. *Эволюционный статус.* Амбарцумян (см., например, [6]) первым понял эволюционное значение этих образований, названных им объектами Хербига—Аро. Имея в виду крайнюю их редкость, низкую абсолютную яркость, своеобразное пространственное распределение, необычный вид и сходство их спектра со спектром туманности вокруг Т Тау, он высказал мнение о том, что объекты Хербига—Аро являются более молодыми образованиями, чем звезды типа Т Тельца, возможно их предшественниками.

Идея о том, что объекты Хербига—Аро представляют собой весьма раннюю стадию эволюции, вошла в науку благодаря, главным образом, исследованиям Хербига [86], Бема [89] и др., свидетельствующим о том, что эти объекты во всех известных случаях показывают признаки крайней молодости и отсутствуют в сравнительно старых системах.

Интересные данные об объектах Хербига—Аро, основанные на их оптических и инфракрасных наблюдениях, подтверждающих их физическую нестационарность, были получены Стромом и др. [91—94]. Среди них особый интерес представляют выводы о крайней молодости этих объектов и об истечении материи из них, даже в этой ранней стадии эволюции [994].

Например, согласно исследованию Строма, Грасдалена и Стром [93], объекты Хербига—Аро наблюдаются в окрестностях Ве и Ae звезд Хербига, возраст которых составляет всего только порядка 10^5 лет, и отсутствуют в сравнительно старых системах, как Т-ассоциация вокруг звезды ρ Ori, возраст которой значительно больше, порядка 10^7 лет. Отсюда следует, по-видимому, что возраст объектов Хербига—Аро по порядку величины не превышает 10^5 лет. А это означает, что они, действительно, представляют собой самые ранние стадии эволюции звезд.

Кроме того, в работе Стром, Строма и Кинмана [94] показано, что запрещенные линии в спектрах объектов Хербига—Аро смещены в коротковолновую сторону спектра, что свидетельствует об истечении материи из этих объектов, то есть выбрасывание материи характерно даже на самых ранних стадиях эволюции звезд.

Когда Хербиг [86] обнаружил очень сильные изменения у объекта H-H2, и в частности появление в нем новых сгущений, вначале, под сильным впечатлением от этих резких изменений, казалось, что они указывают на рождение новых звезд. Однако подробный анализ всех наблюдательных данных об указанном объекте Хербига—Аро показывает, что более правдоподобно предположить, что резкие изменения обусловлены сильной физической нестационарностью его состояния, всегда характерной для ранних стадий развития.

Согласно Хербигу [86], все сгущения в объекте являются очень сложной структуры туманными образованиями. В их спектрах не найдено никаких следов звездного континуума.

Измерения распределения энергии в спектрах объектов H-H1 и H-H2 в области λ 3300—8000, выполненные Бёмом и др. [95], показывают, что интенсивность континуума возрастает в сторону коротких волн, причем особенно резкое возрастание интенсивности наблюдается в спектре объекта H-H1, начиная от λ 5000, что характерно для звезд типа Т Тельца с ультрафиолетовым избытком излучения.

3.3. *О природе объектов Хербига—Аро.* Наблюдения объектов Хербига—Аро в далеком ультрафиолете с помощью спутника IUE' выполнили Ортолани и Д'Одорико [96] и Бём и др. [97].

В исследовании Ортолани и Д'Одорико [96] в спектре объекта H-H1 в области λ 1000—2000 обнаружены сильный континуум и эмиссионные линии высокого возбуждения C IV и C III.

Бем и др. [97] наблюдали спектр объекта Н-Н1 в области $\lambda\lambda$ 1200—3000 и обнаружили непрерывный рост потока излучения к коротким длинам волн, особенно сильный в области $\lambda\lambda$ 2400—3000, не объяснимого рассеянием непрерывного излучения звезды типа Т Тельца.

Представляет интерес вывод, полученный в обеих работах о том, что линии высокой ионизации, наблюдаемые в далеком ультрафиолете объектов Хербига—Аро, значительно более сильные, чем можно было бы ожидать в случае до сих пор построенных моделей для объяснения излучения объектов Хербига—Аро с помощью механизма ударных волн.

Стром, Грасдален и Стром [92] обнаружили в непосредственной окрестности четырех объектов Хербига—Аро точечные источники ИК-излучения, в спектрах которых континуум напоминает континуум звезд типа Т Тельца в инфракрасной области. В некоторых случаях объекты Хербига—Аро, как показали Ло и др. [98], оказались связанными с мазерными источниками H_2O .

Наблюдения показали, что у некоторых объектов Хербига—Аро степень поляризации излучения значительна. Например, поляризация излучения объекта Н-Н100 в интегральном свете, по измерениям Врба, Строма и Стром [93], равна 10%, а в отдельных фрагментах объекта Н-Н24, тоже в интегральном свете, поляризация, по измерениям Стром, Строма и Кинмана [94], достигает 20%.

Основываясь на фактах о значительной поляризации света, указанные выше авторы выдвинули гипотезу о том, что объекты Хербига—Аро представляют собой отражательные туманности, освещаемые очень молодыми объектами, которые окружены плотной околозвездной оболочкой. Вследствие сильного поглощения на пути луча к нам сами молодые объекты, «Н-Н звезды», могут наблюдаться только как инфракрасные источники излучения, между тем как объекты Хербига—Аро, которые отражают их излучение, должны наблюдаться непосредственно в видимой области спектра.

Однако два самых ярких объекта Хербига—Аро (Н-Н1 и Н-Н2) не являются отражательными туманностями (см., например, [100]), что подтверждается и уже упомянутыми наблюдениями в далеком ультрафиолете объекта Н-Н1 [96, 97].

О том, что и некоторые другие объекты Хербига—Аро не являются отражательными туманностями, свидетельствует очень небольшая поляризация их свечения. Кроме того, у объектов Н-Н1 и Н-Н2 наблюдаются

* Ранее сильное мазерное излучение H_2O в направлении NGC 1333, связанное с объектом Хербига—Аро, было обнаружено Дикинсоном и др. [99]. Однако эти же авторы, исследовав 16 других объектов Хербига—Аро, отметили отсутствие у них излучения H_2O .

изменения лучевых скоростей и различные потоки в разных уплотнениях, чего не может быть у отражательных туманностей [101].

Распределение энергии в непрерывном спектре объектов Хербига—Аро № 1, 2, 24 и 32, в области λ 3200—8000, определенное Брюгелем и др. [102], также, по-видимому, противоречит этому представлению.

Поэтому гипотезу об освещении близлежащими звездами, вероятно, можно применять лишь к более диффузным по виду объектам Хербига—Аро. С этой точки зрения правдоподобным представляется предложение Гюльбудагяна [103] о разделении объектов Хербига—Аро на две отличающиеся по физической природе группы: объекты, светимость которых можно количественно объяснить отражением света другого источника, и объекты, светимость которых невозможно интерпретировать как результат отражения. Объекты второй группы по существу и являются истинными объектами Хербига—Аро. Мнение о разделении объектов Хербига—Аро на две группы поддерживают также Шмитд и Врба [100].

В списке Хербига [104], опубликованном в 1964 г., содержатся 43 объекта Хербига—Аро. Около 20 объектов этого класса были обнаружены Стромом и др. [92], Шварцем [105] и Мюнчем [106]. В последнее время список объектов Хербига—Аро дополнился 37 объектами, открытыми на картах Паломарского атласа по внешнему сходству с этими объектами Гюльбудагяном и Магакяном [107]. Спектральные наблюдения наиболее ярких из них, выполненные Гюльбудагяном и др. [108], подтвердили их принадлежность к этому классу. Таким образом, число известных объектов Хербига—Аро в настоящее время достигло около 100.

Интересно отметить, что в окрестностях некоторых объектов Хербига—Аро, обнаруженных в Бюракане [107], Родригес и др. [109] недавно обнаружили мазеры водяных паров (H_2O), а Пашенко и Рудницкий [110] — мазеры молекулы гидроксила (OH).

Более подробное исследование окрестностей многих из объектов Хербига—Аро, обнаруженных в Бюракане [107], позволило Родригесу и др. [111] подтвердить, что на относительно небольших расстояниях от них встречаются компактные H_2O мазеры, а также сделать заключение о наличии близ них компактных $H II$ областей. Последнее истолковывается как свидетельство наличия массивной и горячей звезды. Анализ данных склоняет Родригеса и др. [111] к следующей схеме: из массивной звезды, наряду с истечением вещества, происходит дискретное выбрасывание относительно плотных газовых сгустков. На первой стадии эволюции такой сгусток проявляет себя как H_2O -мазер. Эта стадия продолжается порядка тысячелетия. В дальнейшем этот же сгусток, несколько удалившись от выбросившей его звезды, ведет себя как объект Хербига—Аро. Иными словами, все изложенное находится в согласии с представлением о том,

что объекты Хербига—Аро представляют собой очень молодые объекты, выбрасываемые из звезд на ранних стадиях эволюции последних.

Об этом свидетельствуют, по-видимому, и большие собственные движения, обнаруженные у двух объектов Хербига—Аро: № 28 и 29 Люттен [112] и подтвержденные Гудвортом и Хербигом [113]. Однако, гипотеза о том, что на начальной стадии эти объекты были мазерами H_2O требует самых серьезных оговорок. Если бы все мазеры H_2O превращались затем в объекты Хербига—Аро, то в областях звездообразования вокруг так называемых инфракрасных источников, окруженных иногда многими десятками таких мазеров, мы должны были бы наблюдать много объектов Хербига—Аро. Между тем, если они там и встречаются, то лишь единицами. Повтому следует допустить, что либо не все мазеры H_2O в этих областях превращаются в объекты Н-Н, либо же они становятся столь слабыми объектами, что мы их не можем наблюдать на больших расстояниях. Следовательно, лучше сказать, что между объектами обоих типов существует тесная связь, природу которой еще необходимо выяснить.

Следует добавить, что объекты Хербига—Аро всегда расположены в тех областях Галактики, где имеется много нестационарных молодых образований, в частности, звезд типа Т Тельца, составляющих Т-ассоциации.

4. *Кометарные туманности.* Кометарные туманности, наряду с объектами Хербинга—Аро, являются наглядными примерами генетической связи звезды и газовой материи.

По форме часто напоминающие кометы, они явно связаны с нестационарными звездами. Соответствующие звезды показывают неправильные изменения излучения, не коррелирующие с изменениями, наблюдаемыми в самих кометарных туманностях. В изученных случаях это звезды типа Т Тельца или примыкающие к ним объекты. Хорошо известна, например кометарная туманность Хаббла (NGC 2261), связанная с неправильной переменной звездой.

Амбарцумян [6, 114], более четверти века назад, исследуя вопрос о связи кометарных туманностей со звездами, пришел к допущению о реализации в них энергии из источников неизвестной природы, обеспечивающих наблюдаемые светимости этих туманностей, часто значительно превышающей энергию, непосредственно получаемую ими от связанных с ними звезд. Однако сходство (хотя и не совершенное) спектров туманностей со спектрами связанных с ними звезд заставляет критически рассматривать это допущение.

С тех пор кометарные туманности довольно часто привлекают внимание исследователей. Тем не менее другого правдоподобного объяснения их избыточному свечению до сих пор не было дано.

Обзор исследований этих нестационарных образований, физически связанных с молодыми звездами, недавно опубликован Парсамяном [115], которая еще в 1965 г. составила первый каталог кометарных туманностей, включающий 23 объекта [116]. В 1979 г. появился новый каталог кометарных туманностей Парсамяна и Петросяна [117], включающий уже 106 объектов.

Из них около 80 было обнаружено Гюльбудагяном и Магакяном [118] на картах Паломарского атласа. К кометарным туманностям были причислены небольшие туманности, связанные со звездами и имеющие вид дуги, конуса, хвоста, биконуса или ореола. Иногда в этих туманностях вместо звезд наблюдаются компактные красные объекты или уплотнения.

Некоторые кометарные туманности показывают значительные изменения яркости. Например, переменность туманности Хаббла (NGC 2261) и Хинда (NGC 1555) была известна давно.

Разительные изменения были обнаружены [83, 119] в двух объектах этого класса, связанных с фуором V 1515 Суг и возможным фуороподобным объектом PV Сер, с помощью 2,6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории.

Наблюдения свидетельствуют об определенной независимости между свечением кометарных туманностей и излучением связанных с ними звезд. Например, в работе Гринштейна и др. [120], посвященной спектр-фотометрическому исследованию кометарной туманности NGC 2261, в спектре туманности была обнаружена линия λ 3727 ионизованного кислорода, которая отсутствует в спектре связанной с туманностью звезды R Моп.

Обнаружение Козном (см., например, [37]) у звезд, связанных с кометарными туманностями, больших инфракрасных показателей цвета свидетельствуют, по-видимому, о существовании вокруг них пылевых оболочек, переизлучающих часть видимого излучения этих звезд в инфракрасной области спектра.

Некоторые вопросы теории.

1. *Истечение или аккреция.* Долгое время безоговорочно считалось, что в спектрах всех звезд типа Т Тельца эмиссионные линии имеют абсорбционные компоненты, смещенные в коротковолновую сторону (см., например, [22]).

Этот факт рассматривался как свидетельство непрерывного истечения материи с поверхности звезды. Согласно расчетам Кухи [121], газовая материя радиально истекает с поверхности звезд типа Т Тельца с мощностью, равной, в среднем, $10^{-8} M_{\odot}$ в год. В результате непрерывного истечения эти звезды должны иметь протяженные оболочки с радиусами порядка нескольких радиусов самой звезды.

Однако в начале 60-х годов Уокер [122, 123] обнаружил звезды типа Т Тельца, которые имеют абсорбционные компоненты эмиссионных линий, смещенные в длинноволновую сторону (структура типа анти-Р Суг). По мнению Уокера, у этих звезд, получивших название «типа УУ Ориона», имеет место аккреция вещества на звезду из окружающей оболочки.

Так как это представление находится в согласии с гипотезой о конденсации диффузной материи в звезды, широко распространенной среди теоретиков, то звезды типа УУ Ориона стали рассматриваться как наиболее молодые и активные звезды среди недавно возникших звезд типа Т Тельца (см., например, [124]). В согласии с этим принципиальным для указанной гипотезы выводом Аппенцеллер [125] получил очень высокую оценку частоты звезд типа УУ Ориона среди звезд типа Т Тельца: 40—50%*.

Тем не менее, это точка зрения вряд ли может быть принята в настоящее время в свете современных наблюдательных данных о профилях линий в спектрах звезд типа Т Тельца.

Детальное исследование большого числа звезд типа Т Тельца Ридгревом и др. [127] показало, что истечение вещества характерно по крайней мере для большей части объектов этого класса.

Хербиг [128] исследовал спектры 50 звезд типа Т Тельца и пришел к выводу о том, что ни у одной из этих звезд, включая УУ Ог1 не наблюдается профиль линий типа анти-Р Суг.

Шнеебергер и др. [129], исследовав с высоким разрешением профили линии H_{α} в спектрах 10 звезд типа Т Тельца, в семи случаях наблюдали профили типа Р Суг и ни в одном случае не наблюдался профиль типа анти-Р Суг.

Согласно статистике Кухи [126], основанной на выборке 75 звезд типа Т Тельца, профили линии в 60% случаев двугорбые с абсорбционным компонентом, смещенным к коротковолновому концу, 10% звезд имеют простые профили, 5% — классические профили типа Р Суг, 5% — профили с абсорбционным компонентом, смещенным к длинноволновому концу (типа анти-Р Суг), и 20% недостаточно определены. Иными словами, в большинстве случаев профили хотя и не принадлежат к чистому типу Р Суг, тем не менее указывают на истечение.

Результаты спектральных наблюдений звезд типа Т Тельца в разных диапазонах, в том числе в далеком ультрафиолете, были недавно обсуждены на совещании в Португалии [45].

* Существующие наблюдательные данные свидетельствуют о неправдоподобности этой оценки. На этой основе, например, указанную оценку Аппенцеллера [125], основанную на обзоре всего 18 эмиссионных объектов южного полушария, Кухи [126] считает крайне завышенной и вообще не убедительной.

Они свидетельствуют о том, что у 70% звезд типа Т Тельца профили эмиссионных линий (включая H_α) имеют симметричную форму, в то время как у 5% звезд они определенно показывают профили типа P Cyg. Профили линий типа анти-P Cyg обычно наблюдаются в сильно переменных спектрах (P Cyg \rightarrow анти-P Cyg \rightarrow P Cyg и т. д.). В спектрах других звезд типа Т Тельца наблюдается большое разнообразие профилей линий (двугорбые и т. д.).

Следует отметить, что имеются случаи, когда в спектре одной и той же звезды одни линии имеют профили типа P Cyg, а другие линии — профили типа анти-P Cyg. Например, как уже было отмечено, в спектре DR Тау Крауттер и Бастиан [82] наблюдали профили, имеющие P Cyg-структуру у линий H_α , H_β и H_γ и профили типа анти-P Cyg у водородных линий с высокими квантовыми числами.

Соответственно, важное значение имеет тот факт, что в отличие от профилей типа P Cyg, профили типа анти-P Cyg обычно чрезвычайно переменны (см., например, [126]).*

Поэтому следует допустить, что линии, обладающие профилями типа анти-P Cyg, возникают в среде материи, падающей на звезду после ее выброса из ее поверхностных слоев, подобно случаю солнечных протуберанцев.

Учитывая то обстоятельство, что двугорбые профили с абсорбционным компонентом, смещенным к коротковолновому концу, наблюдаются у большинства звезд типа Т Тельца (по оценке Кухи [126] у $\sim 60\%$ звезд), причем оно легко интерпретируется качественно с помощью модели движущихся оболочек звезд Соболева [130] как результат совместного влияния истечения и вращения (см., например, [131]), следует заключить, что для звезд типа Т Тельца характерным движением материи является истечение⁹.

Таким образом, хотя возможность аккреции в отдельных случаях не исключена, однако наблюдательные данные свидетельствуют, что она не является характерным движением материи в этой ранней стадии эволюции.

В связи с этим необходимо напомнить, что Стром и др. [94] на основе наблюдений ряда объектов Херbiga—Аро пришли к заключению, что даже в этой ранней стадии эволюции имеет место истечение материи.

Рассмотрение собственных движений HH1 и HH2 Херbigом и Джонсом [133] указывает на удаление всех уплотнений, расположенных внутри общей оболочки, от звезды-возбудителя (вероятно, типа Т Тельца).

* Обнаруженная Кухи [117, 1, 132] зависимость между скоростью потери массы и классом интенсивности эмиссионных линий для звезд типа Т Тельца показывает, что скорость потери массы больше у тех звезд, которые обладают более интенсивным эмиссионным спектром.

Представление об извержении (~ 200 км/с) материи из звезд типа Т Тельца подтверждается, по-видимому, и результатами радиоастрономических наблюдений СО-темных облаков (туманностей), благодаря которым обнаружено биполярное истечение материи из вероятных звезд типа Т Тельца [45].

Следует отметить также, что если представить максимальную по величине лучевую скорость, определяемую по линии H_{α} , как реальную физическую скорость, то почти для половины хорошо изученных звезд типа Т Тельца она превышает скорость отрыва, то есть эти звезды выбрасывают материю [45].

2. *О природе непрерывной эмиссии.* В работе Хербига и Аро [32] было показано, что необычно интенсивное для холодных звезд ультрафиолетовое излучение, наблюдаемое в спектрах особо активных звезд типа Т Тельца, невозможно объяснить при допущении двойственности этих звезд, рассматривая его как излучение горячего компонента системы. Безуспешной оказалась также попытка интерпретировать это избыточное ультрафиолетовое излучение как излучение оптически тонкой горячей водородной плазмы, связанной со звездой.

Влияние ультрафиолетовой непрерывной эмиссии на распределение энергии в непрерывном спектре звезды типа Т Тельца впервые детально исследовал Бём [134] на примере двух звезд этого типа NX Моп (Lk H, 22) и VY Ori, входящих в список яркоультрафиолетовых звезд Аро и Хербига [32]. В отличие от звезды типа О, интенсивность непрерывного спектра которой непрерывно растет к ультрафиолету, в спектрах этих звезд интенсивность континуума в длинноволновой части спектра убывает, как у низкотемпературной звезды спектрального класса dGO, а затем резко возрастает к ультрафиолету. Бём [134] показал, что наблюдаемый в спектрах NX Моп и VY Ori ультрафиолетовый избыток излучения не может быть объяснен ни наличием горячих участков на поверхности этих звезд, ни излучением релятивистских электронов в магнитном поле.

Объяснение самого Бёма [134] ультрафиолетовой непрерывной эмиссии, в области λ 3750—3700, как результата слияния эмиссионных бальмеровских линий, возникающих в оптически толстом слое и расширенных доплеровским эффектом, а дальше—эмиссионного бальмеровского континуума, встречается с непреодолимыми трудностями (см., например, [7]).

Гаам и др. [135] сделали попытку объяснить необычное распределение энергии в спектрах звезд типа Т Тельца с помощью следующей модели: звезда, окруженная плотной газовой оболочкой (хромосферой), протянутой туманностью и пылевой оболочкой. В случае одной из звезд типа Т Тельца, LU Lyr, им удалось подбором соответствующих параметров

удовлетворительно представить распределение энергии в спектре в диапазоне 0,33—10 мкм как сумму излучений трех упомянутых источников.

Несмотря на заманчивость такого представления, следует отметить, что совпадения наблюдаемой и теоретической кривых легко достичь, если количество компонентов и диапазоны характеризующих их параметров достаточно большие. Поэтому такое совпадение вряд ли можно считать решающим свидетельством в пользу справедливости предложенного объяснения.

Наблюдения спектров звезд типа Т Тельца свидетельствуют о том, что изменения континуума и эмиссионных линий плохо коррелируют между собой. Так, по наблюдениям Уокера (см., например, [124]) коротковолновая непрерывная эмиссия независима или мало зависит от эмиссионных линий. Исследование Гетца [136], основанное на богатом наблюдательном материале, показывает, что влияние эмиссионных линий на общее излучение звезды типа Т Тельца небольшое и убывает с возрастанием ее блеска. Более того, как уже было отмечено, Шалонж и др. [54] наблюдали обратную корреляцию между континуумом и эмиссионными линиями у звезды RW Aur.

Таким образом, следует считать, что изменения континуума в спектрах звезд типа Т Тельца не связаны прямо с изменениями эмиссионных линий. Это позволяет допустить, что механизмы образования непрерывного спектра и эмиссионных линий у звезд типа Т Тельца, в общем случае, имеют существенно различную природу.

Имеются основания допустить (см., например, [9]), что у звезд типа Т Тельца непрерывная эмиссия индуцирует появление эмиссионных линий, многие из которых могли бы возникнуть только в среде с очень высокой температурой. При этом негепловая по природе [6, 7] непрерывная эмиссия является первичным излучением, по-видимому, лишь по отношению к эмиссионным линиям. Возможно, что непрерывной эмиссии предшествуют какие-то процессы типа ядерного распада, приводящие к образованию элементарных частиц, энергия которых затем может трансформироваться в оптическое излучение, в виде непрерывной эмиссии.

В этом случае следует допустить, что наблюдаемые особенности непрерывной эмиссии, в частности ее спектральное распределение, характеризуют не первичную эмиссию в чистом виде, а ее смесь с излучениями, возникающими под ее влиянием (рекомбинационное излучение, дополнительное тепловое излучение и т. д.).

Именно к таким последствиям может привести выход в наружные слои звезды из ее внутренних слоев сгустков сверхплотной протозвездной материи, еще сохранившейся в недрах молодых звезд, по гипотезе Амбарцумяна [6, 28].

С этой точки зрения представляет большой интерес подозреваемая Вальтером и Кухи [48] обратная корреляция между потоком рентгеновского излучения и эквивалентной шириной эмиссионной линии H_γ у звезд типа Т Тельца. В согласии с этой корреляцией большинство звезд типа Т Тельца, имеющих сильные эмиссионные линии в видимой части спектра (RW Aur, RU Lup, S CrA и др.), не обнаружено в рентгеновской области спектра.

Указанную корреляцию можно естественным образом объяснять в рамках гипотезы [6, 28] о выходе в наружные слои молодых звезд из их внутренних слоев сгустков сверхплотной протозвездной материи следующим образом.

Допустим, что вследствие распада сверхплотной протозвездной материи в поверхностных слоях звезды типа Т Тельца являются потенциальными источниками рентгеновского излучения, в среднем, одинаковой интенсивности, которое локализовано недалеко от фотосферы звезды. Тогда интенсивности наблюдаемого рентгеновского излучения от звезды будет определяться оптической толщиной для этого излучения газовой оболочки, окружающей звезду. Рентгеновское излучение может непосредственно наблюдаться, без заметного ослабления, у тех звезд типа Т Тельца, вокруг которых не имеются достаточно плотные (мощные) газовые оболочки. У остальных звезд типа Т Тельца, имеющих мощные газовые оболочки, рентгеновское излучение будет, в зависимости от их оптической толщины, поглощаться частично или полностью. В этом случае поглощенная оболочкой энергия рентгеновского излучения будет преобразовываться в видимое оптическое излучение, в частности в виде излучения эмиссионных линий в спектре. В результате, чем мощнее будет газовая оболочка вокруг звезды типа Т Тельца, тем слабее будет ее рентгеновское излучение и, наоборот, тем интенсивнее могут быть эмиссионные линии в ее спектре. Именно по этой причине звезды типа Т Тельца, обладающие очень сильным эмиссионным спектром, не могут наблюдаться в рентгеновской области спектра.

В качестве свидетельства в пользу представления о близком расположении источников рентгеновского излучения к фотосферам звезд типа Т Тельца, требуемого этим объяснением, можно рассматривать наблюдаемый факт быстрой переменности рентгеновского излучения звезды DG Tau [47].

Из многочисленных попыток интерпретации непрерывной эмиссии в спектрах звезд типа Т Тельца можно отметить также исследование Ридгрена и др. [127]. В нем непрерывная эмиссия, наблюдаемая в спектрах звезд типа Т Тельца, объясняется как излучение горячих газовых оболочек, окружающих эти звезды. Как уже было отмечено автором [137],

эта идея, ранее обсуждавшаяся в литературе, не может быть принята, и силу ряда особенностей непрерывной эмиссии. В частности, модель «холодная звезда, окруженная горячей оболочкой» находится в противоречии с наблюдаемыми цветами $U-B$, $B-V$ непрерывной эмиссии (см., например, [9]). Кроме того, она оставляет открытым вопрос об источниках энергии указанных горячих оболочек.

Таким образом, приходится признать, что в настоящее время отсутствует общепринятое объяснение явления непрерывной эмиссии в спектрах звезд типа Т Тельца, в рамках существующих представлений о механизмах излучения, и природа непрерывной эмиссии остается неясной (см., например, [9]).

3. *О молодых звездах, расположенных на диаграмме Герцшпрунга—Рессела ниже главной последовательности.* Наблюдения звезд типа Т Тельца и родственных объектов, представляющих ранние стадии эволюции звезд, являются пробным камнем для любой теории эволюции звезд.

Наблюдаемое положение звезд типа Т Тельца и родственных объектов на диаграмме Герцшпрунга—Рессела хорошо согласуется с их молодостью. Как правило, они находятся вне главной последовательности, причем, если большинство звезд лежит выше нее, то имеются и звезды, занимающие положение ниже этой последовательности [138].

Для интерпретации диаграммы цвет-светимость звезд типа Т Тельца с помощью современной теории начального этапа эволюции звезд, основанной на конденсационной гипотезе, существование молодых звезд, не достигших еще главной последовательности и расположенных ниже нее, представляет серьезную проблему.

Вывод о существовании звезд типа Т Тельца и эволюционно связанных с ними вспыхивающих звезд, попадающих на диаграмме Герцшпрунга—Рессела ниже главной последовательности, подтверждается рядом исследований. Об этом свидетельствует, в частности, исследование Хербига [138]. Свидетельства о существовании молодых звезд, локализованных на диаграмме Герцшпрунга—Рессела ниже главной последовательности, содержатся также в работах Джонса [139, 140], Эндрюса [141], Чавушяна и Гарибджаняна [142] и др.

О большом затруднении, которое представляет этот наблюдательный факт для теории начальной эволюции звезд, исходящей из конденсационной гипотезы, впервые указали Аро и Чавира [14], которые привели первые свидетельства в пользу существования в ассоциациях Ориона и Единорога вспыхивающих звезд, одновременно являющихся звездами типа Т Тельца и попадающих на диаграмме Герцшпрунга—Рессела в область ниже главной последовательности.

Из существующих в настоящее время попыток преодоления этого затруднения для современной теории эволюции звезд отметим две следующие.

Поведа [143] допускает, что молодая, недавно сформированная звезда в некоторых случаях может быть окружена твердыми частицами, оказывающими экранирующее влияние на ее излучение. Вследствие этого нейтрального относительно длины волны поглощения излучения звезды она на диаграмме Герцшпрунга—Рессела наблюдается в области ниже главной последовательности. В последующем эти частицы конденсируются в более крупные, планетовидные тела, исчезает их экранирующее влияние на излучение звезды, и она постепенно вертикально поднимается на диаграмме к главной последовательности.

Наиболее слабым местом такого объяснения следует считать принятие двух разных путей эволюции звезд до достижения ими равновесных состояний (до главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга—Рессела), соответствующих в одном случае убыванию, а в другом случае—возрастанию светимости звезды. Ведь предложенное объяснение относится к наиболее ранней стадии эволюции звезды.

Поэтому допущение о существовании двух различных путей эволюции молодых звезд представляется довольно искусственным. Кроме того, само допущение о наличии вокруг некоторых молодых звезд оболочек, состоящих из нейтральнопоглощающих частиц, является пока необоснованным [137].

Иного характера возражение можно привести к объяснению, выдвинутому в работе Грасдалена и др. [144] по изучению Т-ассоциации в Хамелеоне. Наблюдательный факт наличия звезд типа Т Тельца ниже главной последовательности на диаграмме (V , $B-V$), составленной для этой ассоциации, в этом объяснении рассматривается как результат влияния ультрафиолетовой непрерывной эмиссии на показатели цвета $B-V$ этих звезд. Эмпирическим учетом вклада непрерывной эмиссии на соответствующие значения $B-V$ эти звезды на диаграмме могут быть подняты до главной последовательности, что, по мнению авторов [144], устраняет расхождение между наблюдаемым положением некоторых молодых звезд (ниже главной последовательности) и их ожидаемым положением (выше главной последовательности) по теории начальной эволюции звезд, исходящей из гипотезы о конденсации диффузной материи в звезды.

Подход Грасдалена и др. [144] к объяснению существованию молодых звезд, попадающих на диаграмме Герцшпрунга—Рессела в область ниже главной последовательности, трудно считать достаточно обоснованным. Это объяснение находится в противоречии с результатом Эндрюса [141] о том, что не все молодые звезды в ассоциации Ориона, имеющие сильное ультрафиолетовое излучение, на диаграмме Герцшпрунга—Рессела попадают в область ниже главной последовательности [137].

Заключение.

Астрофизические наблюдения последних десятилетий, особенно исследования звезд типов Т Тельца и родственных объектов, выявили много нового и неожиданного для современной теории эволюции звезд. Они способствовали окончательному установлению эволюционного статуса этих звезд, представляющих раннюю стадию эволюции звезд, непосредственно следующую за формированием звезды.

Несмотря, однако, на достигнутые серьезные успехи, многие вопросы, относящиеся к формированию и эволюции, к физическим особенностям звезд типа Т Тельца, остаются еще нерешенными.

Приходится признавать, например, что рассмотренные выше наблюдательные данные о профилях эмиссионных линий в спектрах звезд типа Т Тельца, указывающие на истечение материи с поверхностных слоев молодых звезд, о непрерывной эмиссии, необъяснимой в рамках существующих представлений о механизмах излучения звезд, и о существовании молодых звезд, расположенных на диаграмме Герцшпрунга—Рессела ниже главной последовательности, не находят правдоподобной интерпретации в современной теории эволюции звезд, исходящей из гипотезы о формировании звезд путем конденсации диффузной материи в звезды.

С этой точки зрения они заставляют серьезно сомневаться в способности этой теории объяснять наблюдаемые в мире молодых звезд явления, а тем более предсказывать новые явления.

Поэтому дальнейшее изучение звезд типа Т Тельца и родственных объектов является одной из наиболее актуальных проблем астрофизики наших дней.

Это изучение должно включить в себя прежде всего разнообразные наблюдения, нацеленные на решение отдельных вопросов физики и эволюции звезд.

Отметим некоторые, как нам кажется, наиболее важные из них.

1. Определение с достаточно высокой точностью профилей эмиссионных линий в спектрах большого числа звезд типа Т Тельца. Выяснение роли процессов истечения и аккреции в эволюции этих объектов.

2. Астрометрические наблюдения объектов Хербига—Аро и связанных с ними маэров H_2O и OH , с целью определения их собственных движений, имея в виду исследование их перемещений относительно «материнских» звезд типа Т Тельца.

3. Наблюдения достаточно большого числа звезд типа Т Тельца в рентгеновской и гамма-областях спектра. Исследование поведения обнаруженного при этом излучении для исследования вопроса о природе его энергии.

4. Длительные сканерные наземные и внеатмосферные наблюдения непрерывных спектров отдельных звезд типа Т Тельца для исследования изменений непрерывной эмиссии в их спектрах. Выявление природы непрерывной эмиссии.

5. Поляриметрические наблюдения звезд типа Т Тельца и объектов Херbiga—Аро для выяснения роли магнитных полей, а также процессов отражения в наблюдаемой поляризации.

6. Разнообразные наблюдения фуоров и фуороподобных объектов для вскрытия природы явления фуора. Исследование вопроса о возможной эволюционной связи между карликовыми (типа Т Тельца) и гигантскими (О—В) звездами, через явление фуора.

7. Наблюдения вспышек звезд типа Т Тельца для исследования возможной эволюционной связи между ними и вспыхивающими звездами, а также природы энергии звездных вспышек.

8. Электрофотометрическое определение диаграммы Герцшпрунга — Рассела для Т-ассоциаций. Дальнейшее изучение звезд типа Т Тельца, попадающих на ней в область ниже главной последовательности. Определение особенностей излучения этих звезд.

9. Исследование вопроса о характере связи звезд типа Т Тельца и генетически связанных с ними комплексов диффузной материи.

Для решения указанных, а также многих других вопросов, связанных как с физическим, так и эволюционным изучением звезд типа Т Тельца и родственных объектов, наиболее эффективным способом их наблюдения следует считать организацию кампаний, включающих одновременные наземные и внеатмосферные наблюдения возможно большого числа областей спектра. Причем эти наблюдения целесообразно осуществлять достаточно длительное время для выявления природы переменности наблюдаемого излучения.

Бюряканская астрофизическая
обсерватория

T TAURI STARS AND RELATED OBJECTS

L. V. MIRZOYAN

The review of the observational data on the T Tauri type stars, fuors, Herbig-Haro objects and cometary nebulae and their discussion is given.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. H. Joy, Ap. J., 162, 168, 1945.
2. A. H. Joy, Ap. J., 110, 429, 1949.
3. В. А. Амбарцумян. Эволюция звезд и астрофизика. АН Арм.ССР, Ереван, 1947.
4. V. A. Ambartsumian, Trans. IAU, vol. 8, ed. P. Th. Oosterhoff, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1954, p. 655.
5. А. В. Мирзоян. Проблемы современной космогонии, ред. В. А. Амбарцумян, Наука М., 1972, глава II Probleme der Modernen Kosmogonie, Kapitel II, Akademie Verlag, Berlin, 1976, 1980.
6. В. А. Амбарцумян. Сообщ. Бюраканской обс., 13, 1954.
7. А. В. Мирзоян, ДАН СССР, 119, 667, 1958.
8. V. A. Ambartsumian, L. V. Mirzoyan, Astrophys. Space Sci., 1982 (in press).
9. А. В. Мирзоян. Нестационарность и эволюция звезд, АН Арм.ССР, Ереван, 1981.
10. S. E. Strom, K. M. Strom, G. L. Gasdalen, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 13, 187, 1975.
11. G. H. Herbig, Adv. Astron. Astrophys., 1, 47, 1962.
12. C. Hoffmeister, Non-Stable Stars. IAU Symposium No. 3, ed. G. H. Herbig, Cambridge, Univ. Press, Cambridge, 1957, p. 22.
13. M. Cohen, R. D. Schwartz, M.N. RAS, 114, 137, 1976.
14. G. Haro, E. Chavira, Vistas in Astronomy, 8, 89, 1966.
15. L. Rostro, Low-Luminosity Stars, ed. S. S. Kumar, Gordon and Breach Science Publishers, New York—London—Paris, 1969, p. 181.
16. W. Wenzel, Mitt. Veranderl. Sterne 5, 117, 1970.
17. M. Cohen, M.N. RAS, 161, 97, 1973.
18. Г. В. Зайцева. Фотометрическое и спектральное исследование неправильных переменных звезд, Московский университет, 1973.
19. В. А. Амбарцумян. Нестационарные звезды, ред. М. А. Аракелян, АН Арм.ССР, Ереван, 1957, стр. 9.
20. Ф. И. Лукацкий. Переменные звезды, 16, 168, 1967.
21. P. Kuun, Ap. J., 210, 129, 1976.
22. G. H. Herbig, Spectroscopic Astrophysics, ed. G. H. Herbig, Univ. California, Press, Berkeley—Los Angeles—London, 1970, p. 237.
23. G. F. Gahm, K. Fredgu, R. Liseuu, D. Dravins, Astron. Astrophys., 73, L4, 1979.
24. I. Appenzeller, B. Wolf, Astron. Astrophys., 75, 164, 1979.
25. C. L. Imhoff, M. S. Giampapa, Ap. J., 239, L115, 1980.
26. I. Appenzeller, C. Chavarria, J. Krutter, R. Mundt, B. Wolf, Astron. Astrophys., 90, 184, 1980.
27. W. K. Bonsack, J. L. Grenstein, Ap. J., 131, 83, 1960.
28. V. A. Ambartsumian, Non-Stable Stars, IAU Symposium No. 3, ed. G. H. Herbig, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1957, p. 177.
29. A. H. Joy, P. A. S. P., 66, 5, 1954.
30. O. Struve, P. Swings, P. A. S. P., 60, 61, 1948.
31. M. F. Walker, Roy. Obs. Bull., No. 82, 69, 1964.
32. G. Haro, G. H. Herbig, Bol. Obs. Tonantzintla, No. 12, 33, 1955.
33. G. H. Herbig, Mem. Soc. Roy. Sci. Liege, 19, 13, 1970.
34. L. V. Kuht, Mem. Soc. Roy. Sci. Liege, 19, 295, 1970.
35. E. E. Mendoza, Ap. J., 143, 1010, 1966.
36. E. E. Mendoza, Ap. J., 151, 977, 1968.

37. *M. Cohen*, M.N. RAS, 161, 85, 1973.
38. *F. J. Low, B. J. Smith*, Nature, 212, 675, 1956.
39. *P. A. Варданян*, Сообщ. Бюраканской обс., 35, 3, 1964.
40. *P. Baatjan, J. D. Landstreet*, Ap. J., 229, L137, 1979.
41. *Ю. С. Ефимов*, Вспыхивающие звезды, фюоры и объекты Хербига—Аро, ред. А. В. Мирзоян, АН Арм.ССР, Ереван, 1980, стр. 107.
42. *W. Götz*, Veröff. Sternw. Sonneberg, 7, Heft 1, 1965.
43. *W. J. Wilson, P. R. Schwartz, E. E. Epstein*, Ap. J., 183, 871, 1973.
44. *J. H. Spencer, P. R. Schwartz*, Ap. J., 188, L105, 1974.
45. *M. Cohen*, Sky & Tel., 62, No. 4, 300, 1981.
46. *G. F. Gahm*, Ap. J., 242, L163, 1980.
47. *E. D. Feigelson, W. M. DeCampfi*, Ap. J., 243, L89, 1981.
48. *F. M. Walter, Z. V. Kuhl*, Ap. J., 250, 254, 1981.
49. *E. B. Weston, L. H. Aller*, Mem. Soc. Roy. Sci. Liege, 15, 251, 1954.
50. *Э. А. Исмайлос*, Вспыхивающие звезды, ред. А. В. Мирзоян, АН Арм.ССР, Ереван, 1977, стр. 97.
51. *W. Götz, W. Wenzel*, Mitt. Verändert. Sterne, 4, 71, 1967.
52. *Е. К. Харалде, Р. А. Бартая*, Бюлл. Абастуманской обс., 30, 3, 1964.
53. *А. В. Мирзоян, Э. С. Казарян*, Астрофизика, 1, 213, 1965.
54. *D. Chalonge, L. Divan, L. V. Mirzoyan*, Astrofizika, 7, 345, 1971.
55. *M. Cohen*, M.N. RAS, 164, 395, 1973.
56. *M. Cohen*, M.N. RAS, 169, 257, 1974.
57. *R. F. Knucke, K. M. Strom, S. E. Strom, E. Young, W. Kunkel*, Ap. J., 179, 847, 1973.
58. *В. А. Амбарцумян*, Астрофизика, 7, 557, 1971.
59. *A. A. Wachmann, Z. Astrophys.*, 35, 74, 1954.
60. *G. H. Herbig*, Vistas in Astronomy, 8, 109, 1965.
61. *E. E. Mendoza, C. L. Imhoff*, Rev. Mod. Astron. Astrofis., 1, 25, 1974.
62. *G. Welin*, Astron. Astrophys., 12, 312, 1971.
63. *G. H. Herbig*, Ap. J., 128, 259, 1958.
64. *G. H. Herbig*, Ap. J., 217, 693, 1977.
65. *G. H. Herbig, E. A. Harlan*, Inf. Bull. Variable Stars, No. 543, 1971.
66. *G. F. Gahm, G. Welin*, Inf. Bull. Variable Stars, No. 741, 1972.
67. *D. Chalonge, L. Divan, L. V. Mirzoyan*, Astrofizika, 18, 263, 1982.
68. *D. Chalonge, L. Divan*, Astron. Astrophys., 23, 69, 1973.
69. *M. Cohen, N. J. Woolf*, Ap. J., 169, 513, 1971.
70. *K. Y. Lo, K. P. Vechta*, Ap. J., 185, L71, 1973.
71. *A. Winnberg, C. M. Walmsley, D. A. Graham, V. Punkonin, R. S. Boeth*, Bull. Am. Astron. Soc., 11, 612, 1979.
72. *G. H. Herbig*, Ap. J., Suppl. ser., 4, 337, 1960.
73. *В. А. Амбарцумян*, Частное сообщение.
74. *В. А. Амбарцумян, А. В. Мирзоян, Т. П. Сюю*, Астрофизика, 14, 425, 1978.
75. *J. H. Elias*, Ap. J., 233, 859, 1978.
76. *M. Cohen*, M.N. RAS, 173, 279, 1975.
77. *А. А. Гюльбудалян, Р. С. Саркисян*, Астрон. цирк., № 972, 1977.
78. *А. А. Гюльбудалян*, Вспыхивающие звезды, фюоры и объекты Хербига—Аро, ред. А. В. Мирзоян, АН Арм.ССР, Ереван, 1980, стр. 199.
79. *C. Chavarro-K*, Astron. Astrophys., 79, L18, 1979.

80. W. Götz, *Inf. Bull. Variable Stars*, No. 1747, 1980.
81. C. Bertout, J. Krautter, B. Möllenhoff, B. Wolf, *Astron. Astrophys.*, 61, 737, 1977.
82. J. Krautter, U. Bastian, *Astron. Astrophys.*, 89, L6, 1980.
83. А. А. Гюльбудаян, А. С. Амирханян, *Вспыхивающие звезды*, ред. А. В. Мирзоян, АН Арм.ССР, Ереван, 1977, стр. 127.
84. M. Cohen, L. V. Kuhi, E. A. Harlan, *Ap. J.*, 215, L127, 1977.
85. Т. Ю. Мазакян, *Письма АЖ*, 7, 398, 1981.
86. G. H. Herbig, *Non-periodic Phenomena in Variable Stars*, IAU Colloquium No. 4, ed. L. Delle, Academic Press, Budapest, 1969, p. 75.
87. G. Haro, *Ap. J.*, 113, 572, 1952.
88. G. H. Herbig, *Ap. J.*, 113, 697, 1951.
89. K. H. Böhm, *Problems of Physics and Evolution of the Universe*, ed. L. V. Mirzoyan, Ac. Sci. Armenian SSR, Yerevan, 1978, p. 121.
90. R. D. Schwartz, *P.A.S.P.*, 88, 159, 1976.
91. K. M. Strom, S. E. Strom, G. L. Grasdalen, *Ap. J.*, 187, 83, 1974.
92. S. E. Strom, G. L. Grasdalen, K. M. Strom, *Ap. J.*, 191, 111, 1974.
93. F. J. Vrba, S. E. Strom, K. M. Strom, *P.A.S.P.*, 87, 337, 1975.
94. K. M. Strom, S. E. Strom, T. D. Kinman, *Ap. J.*, 191, L93, 1974.
95. K. H. Böhm, R. D. Schwartz, W. A. Stegmund, *Ap. J.*, 193, 353, 1974.
96. S. Ortolani, S. D'Odorico, *Astron. Astrophys.*, 83, L8, 1980.
97. K. H. Böhm, E. Böhm-Vitense, E. W. Brügel, *Ap. J.*, 245, L113, 1981.
98. K. Y. Lo, M. Morris, J. M. Moran, A. D. Haschick, *Ap. J.*, 204, L21, 1976.
99. C. D. Dickinson, G. Kojolan, S. E. Strom, *Ap. J.*, 194, L93, 1974.
100. C. D. Schmidt, F. J. Vrba, *Ap. J.*, 201, L33, 1975.
101. А. А. Гюльбудаян, *ДАН Арм.ССР*, 65, 35, 1977.
102. W. Brugel, K. H. Böhm, E. Mannery, *Ap. J.*, 243, 874, 1981.
103. А. А. Гюльбудаян, *Астрофизика*, 11, 511, 1976.
104. G. H. Herbig, *Lick Obs. Bull.*, No. 658, 1974.
105. R. D. Schwartz, *Ap. J.*, 212, L25, 1977.
106. G. Münch, *Ap. J.*, 212, L77, 1977.
107. А. А. Гюльбудаян, Т. Ю. Мазакян, *ДАН Арм.ССР*, 64, 104, 1977.
108. А. Л. Гюльбудаян, Yu. I. Glushkov, E. K. Dentsyuk, *Ap. J.*, 224, L137, 1978.
109. L. F. Rodriguez, J. M. Moran, D. F. Dickinson, A. L. Gyulbudagyan, *Ap. J.*, 226, 115, 1978.
110. М. И. Пашенко, Г. М. Рудницкий, *Вспыхивающие звезды, флуоры и объекты Хербига—Аро*, ред. А. В. Мирзоян, АН Арм.ССР, Ереван, 1980, стр. 252.
111. L. F. Rodriguez, J. M. Moran, P. T. P. Ho, E. W. Gottlieb, *Ap. J.*, 235, 845, 1980.
112. W. J. Luyten, *The Hyades*, Univ. Minnesota Press, Minnesota, 1971.
113. K. M. Gudworth, G. H. Herbig, *A. J.*, 84, 547, 1979.
114. В. А. Амбарцумян, *Вопросы космогонии*, 4, 76, 1955.
115. Э. С. Парсаян, *Вспыхивающие звезды, флуоры и объекты Хербига—Аро*, ред. А. В. Мирзоян, АН Арм.ССР, Ереван, 1980, стр. 259.
116. Э. С. Парсаян, *Изв. АН Арм.ССР, серия физ.-мат. наук*, 18, 146, 1965.
117. Э. С. Парсаян, В. М. Петросян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 51, 3, 1979.
118. А. А. Гюльбудаян, Т. Ю. Мазакян, *Письма АЖ*, 3, 113, 1977.
119. Т. Ю. Мазакян, А. С. Амирханян, *Вспыхивающие звезды*, ред. А. В. Мирзоян, АН Арм.ССР, Ереван, 1977, стр. 129.

120. Дж. А. Гринштейн, М. А. Казарян, Т. Ю. Мазакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 12, 587, 1976.
121. L. V. Kuhi, *Ap. J.*, 140, 1409, 1964.
122. M. F. Walker, *A. J.*, 68, 298, 1963.
123. M. F. Walker, *Stellar Evolution*, eds. R. E. Stein, A. G. W. Cameron, Plenum Press, New York, 1966, p. 405.
124. M. F. Walker, *Ap. J.*, 175, 89, 1972.
125. J. Appenzeller, *The Interaction of Variable Stars with Their Environment*, IAU Colloquium No. 42, eds. R. Kippenhahn, J. Kahr, W. Strohmeier, *Veröff. Bamberg*, Bd. IX No. 121, 1977, p. 80.
126. L. V. Kuhi, *Protostars and Planets*, ed. T. Gehrels, Univ. Arizona Press, Tucson, Arizona, 1978, p. 708.
127. A. F. Ridgren, S. E. Strom, K. M. Strom, *Ap. J., Suppl. ser.*, 30, 307, 1975.
128. G. H. Herbig, *Ap. J.*, 214, 747, 1977.
129. T. J. Schneeberger, S. P. Worden, M. S. Wilkinson, *Ap. J., Suppl. ser.*, 41, 369, 1977.
130. В. В. Соболев, *Движущиеся оболочки звезд*. Изд-во ЛГУ, Ленинград, 1947.
131. V. Doazan, *Ann. Astrophys.*, 28, 1, 1965.
132. L. V. Kuhi, *Ap. J.*, 143, 991, 1966.
133. G. H. Herbig, B. F. Jones, *A. J.*, 86, 1232, 1981.
134. K. H. Böhm, *Z. Astrophys.*, 43, 245, 1957.
135. G. F. Gahm, H. L. Nordh, S. G. Olofsson, N. C. J. Carlberg, *Astron. Astrophys.*, 33, 399, 1974.
136. W. Cötze, *Die Sterne*, 43, 16, 1967.
137. L. V. Mirzayan, *Stars and Galaxies From Observational Points of View*, ed. E. K. Kharadze, *Ac. Sci. Georgian SSR, Tbilisi*, 1976, p. 121.
138. G. H. Herbig, *Ap. J.*, 135, 736, 1962.
139. B. F. Jones, *Ap. J.*, 171, L57, 1972.
140. B. F. Jones, *Astron. Astrophys. Suppl. ser.*, 9, 313, 1973.
141. A. D. Andrews, *Bol. Obs. Tonantzintla*, 5, No. 34, 195, 1970.
142. О. С. Чавишян, А. Т. Гагиджамян, *Астрофизика*, 11, 565, 1975.
143. A. Poveda, *Bol. Obs. Tonantzintla*, 4, No. 26, 15, 1965.
144. Q. Graedalen, R. Joyce, R. F. Knacke, S. E. Strom, K. M. Strom, *A. J.*, 80, 117, 1975.
145. W. J. Altenhoff, L. L. E. Brues, F. M. Olin, H. J. Wendker, *Astron. Astrophys.*, 46, 11, 1976.
146. P. R. Schwartz, J. H. Spencer, *M. N. RAS*, 180, 297, 1977.
147. M. Cohen, J. H. Breging, P. R. Schwartz, *Ap. J.*, 253, 707, 1982.