

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

МОСКВА · 1974



Академик
В. А. АМБАРЦУМЯН

Вспыхивающие звезды в скоплениях и ассоциациях

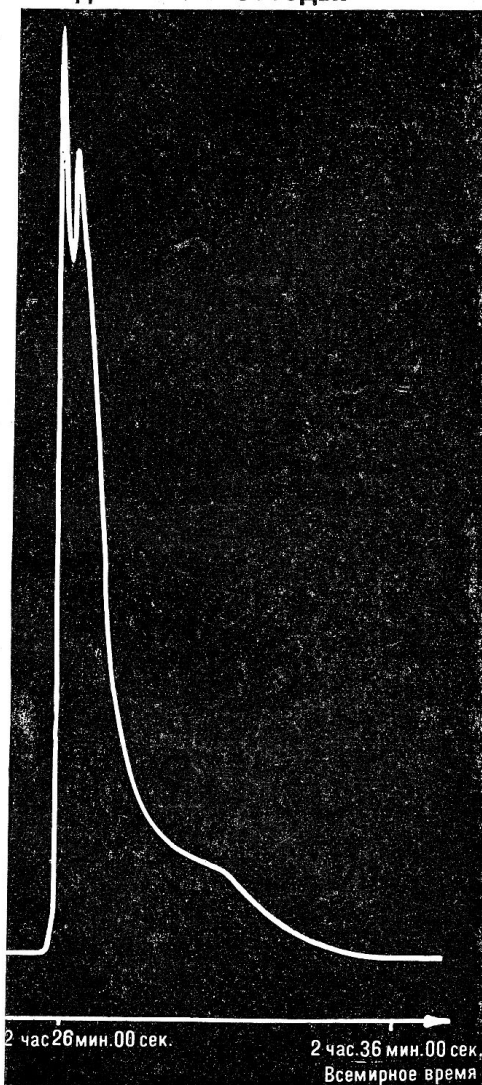
Во всех последних открытиях, которыми так богата астрономия, есть одна примечательная особенность. Сначала кажется, будто открыто удивительное, редкое, нечто действительно исключительное, требующее специального объяснения. А затем, после долгих кропотливых исследований становится ясно, что вся необычность была проявлением какой-то общей закономерности. Так случилось и со вспыхивающими звездами.

Четверть века назад открытие первой вспыхивающей звезды произвело потрясающее впечатление на астрономов. Ничем не примечательная слабая звезда 12-й звездной величины оказалась вспыхивающей! Естественно, астрономы считали, что звездные вспышки — уникальное явление в мире звезд. Теперь только в одном звездном скоплении Плеяды известно более 360 вспыхивающих звезд. И чтобы понять эволюцию звезд, надо изучать вспыхивающие звезды как ее закономерную стадию.

Изучение физических свойств звезд поставило перед астрофизиками огромное количество проблем, большинство которых остается нерешенными. Требуется объяснить наблюдаемые соотношения между такими характеристиками звезды, как масса, светимость, вращательные моменты и другие. Нужно найти механизм сложных динамических процессов и электромагнитных явлений, происходящих в звездных атмосферах; следует построить теории, описывающие фото-

Изложение доклада, с которым В. А. Амбарцумян выступил на I Всесоюзной астрономо-геодезической конференции. Май 1973 г., Тбилиси. (Прим. ред.)

За несколько десятков секунд слабая, ничем не выделяющаяся звезда может в сотни раз увеличить свой блеск и затем медленно в течение получаса возвращаться к прежнему состоянию. Вспышки звезд, считавшиеся вначале исключительным явлением, теперь рассматриваются как закономерная стадия жизни звезды.



метрические и спектральные изменения звездного излучения. Это лишь некоторые примеры нерешенных задач в астрофизике. По моему глубокому убеждению, их хватит на много поколений астрофизиков. Пока астрофизика находится в той стадии, когда каждая решенная задача вызывает появление доброго десятка новых нерешенных.

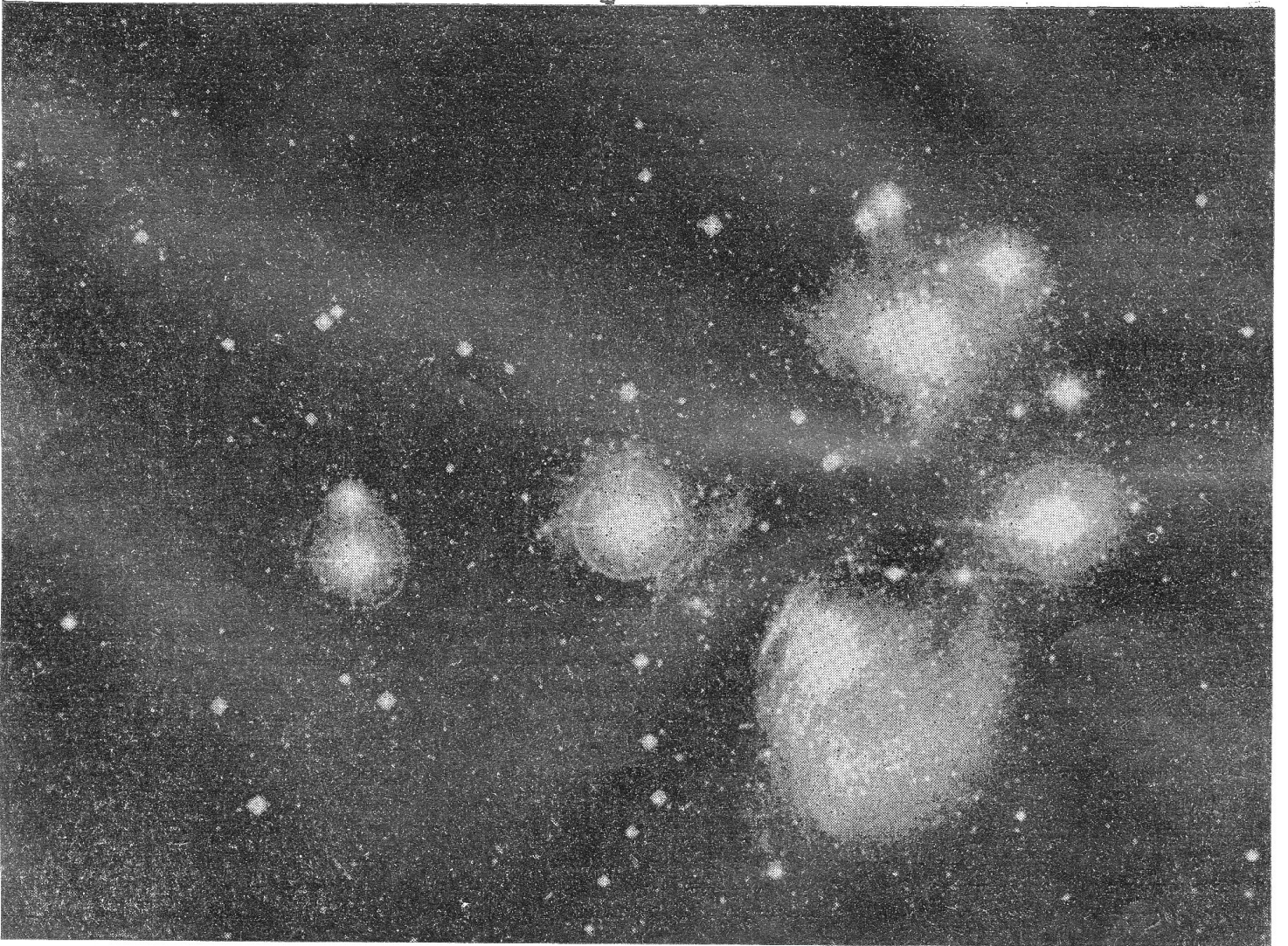
Среди многих проблем астрофизики видное место занимают две тесно связанные между собой проблемы — внутреннее строение звезд и эволюция звезд. Много усилий прилагается, чтобы решить их теоретическим путем на основе некоторых моделей. При этом наблюдательные данные либо играют наводящую роль, указывая, в каком направлении надо искать, либо же используются для проверки теории. Конечно, никто не может отрицать правомерность и логичность такого пути. Однако независимо от успехов метода моделей при решении задач физики звезд представляется закономерным и другой, чисто эмпирический путь, когда решение ищется на основе наблюдательных данных с

■
Кривая блеска звезды UV Кита во время вспышки 19 октября 1968 года

■
Ассоциация в Орионе

■
Рассеянное звездное скопление Ясли

■
Плеяды





использованием лишь таких гипотез и теоретических положений, которые в применении к данному объекту кажутся неоспоримыми или по крайней мере правдоподобными. Здесь, наоборот, теоретические соображения играют наводящую роль и служат для проверки правильности экстраполяции наблюдательных зависимостей.

Следует признать, что эмпирический подход вряд ли широко применим к решению проблемы внутреннего строения звезд. Действительно, если звезды и Солнце излучали бы нейтринно, как предполагали когда-то теоретики, то можно было надеяться «увидеть» недра звезд и непосредственно изучать их внутреннее строение. Вся другая информация о звездах и Солнце, хотя и необычно обильна, но связана с их внутренним строением не прямо, а лишь через многочисленные промежуточные явления, большинство которых непосредственно не наблюдается.

Совершенно иное положение в проблеме звездной эволюции. Все что получают наблюдатели: светимости, массы, радиусы звезд, скорости их вращения, общее магнитное поле звезд, средний поток вещества в звездном ветре — все эти интегральные характеристики звезд связаны с вопросом звездной эволюции. Уже само существование непрерывных последовательностей на диаграммах цвет—светимость, масса—светимость и других наводит на мысль о непрерывных изменениях этих характеристик в течение жизни звезды. Вспомним весьма наивные первоначальные попытки интерпретации диаграммы Герцшпрунга — Рассела как диаграммы, свидетельствующей о сжати

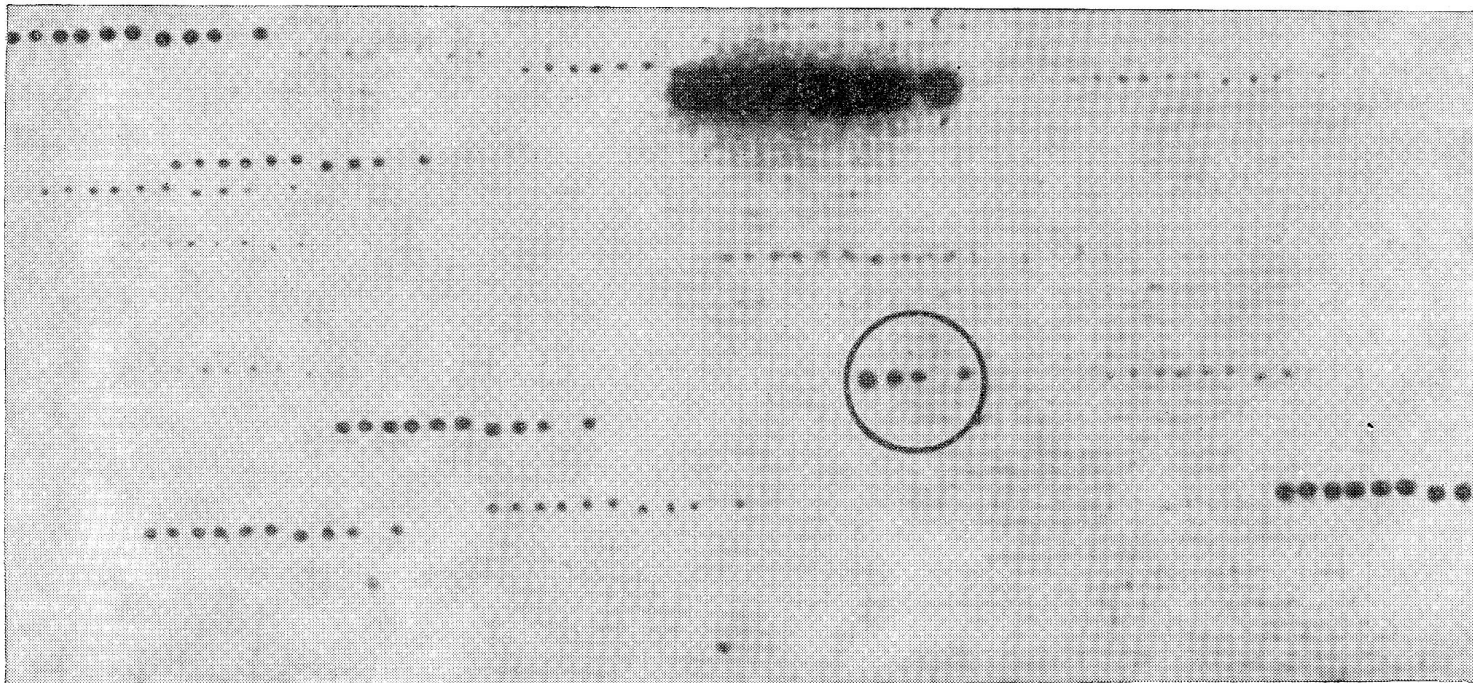
звезды от красного гиганта через голубую горячую звезду к красному карлику. Более серьезными оказались попытки прямого эволюционного истолкования диаграммы цвет — светимость для шаровых скоплений. Изучение рассеянных звездных скоплений позволило в грубых чертах решить некоторые проблемы, относящиеся к наиболее ранним этапам жизни звезды. Существование звездных агрегатов различного возраста — звездных ассоциаций, молодых и старых скоплений — открыло большие возможности для эмпирического изучения изменений звездных характеристик во времени.

В звездных ассоциациях и скоплениях часто встречаются вспышечные звезды. Много их и в окрестности Солнца. Первым начал исследовать вспышечные звезды в ассоциациях и скоплениях мексиканский астроном Г. Аро из обсерватории Тонанцинтла. Он открыл довольно много вспышечных звезд в ассоциации в Орионе, затем в скоплении Плеяды и некоторых других. Оказалось, что на диаграмме цвет — светимость для ассоциации в Орионе вспышечные звезды встречаются среди членов ассоциации, принадлежащих к поздним спектральным классам, начиная примерно с G8. В молодых скоплениях типа Плеяд, возраст которых порядка нескольких десятков миллионов лет, вспышечные звезды появляются со спектрального класса K5. Дальнейшие детальные исследования показали, что в Плеядах вспышечные объекты есть и среди звезд спектрального класса K2—K4. В других, более старых скоплениях типа Ясли и Гиады вспышечные

звезды можно найти только среди объектов спектрального класса M0 и позднее. Следовательно, чем старше скопление, тем более поздний спектральный класс имеют вспышечные звезды.

Уже один этот вывод Аро заставляет думать, что изучение вспышечных звезд должно открыть путь для более глубокого наблюдательного исследования проблем звездной эволюции. Предположим, что мы знаем точно возраст ассоциации в Орионе, возраст скоплений Плеяды, Ясли, Гиады. Тогда мы могли бы сопоставить возраст скоплений с характеристиками вспышечных звезд и в абсолютной шкале времени проследить эволюцию вспышечной активности звезд. Однако определить точно возраст скоплений невозможно. Мы не знаем, насколько длительным было само звездообразование в данном агрегате. Все оценки возраста скоплений основываются на тех или иных теориях звездной эволюции, поэтому оценки сильно отличаются друг от друга. Определять же возраст скопления эмпирически мы пока не умеем.

Между тем ставится задача построения картины звездной эволюции по возможности независимо от развиваемых теорией представлений. Следовательно, крайне желательно иметь более непосредственный критерий для абсолютного возраста скоплений. Мне кажется, что это трудная, но не безнадежная задача. Следует подумать об уточнении статистико-механических критериев, которые будут давать надежный возраст. Можно попытаться установить точную зависимость между некоторыми характеристиками звезд и их возрастом. Известно, на-



пример, что обилие легких элементов в атмосферах звезд связано с их возрастом.

Поскольку среди довольно молодых звезд (относительно возраста агрегата) встречается много вспыхивающих, возникает вопрос: все ли звезды малой массы проходят через стадию вспыхивающей активности? Массивные звезды, в том смысле как мы понимаем явление вспыхивающей звезды, не вспыхивают. Вполне возможно, что они испытывают вспышки того же масштаба, которые бывают у звезд малой массы, но из-за высокой светимости массивных звезд мы этих вспышек не наблюдаем. Нельзя заранее отвергнуть, что наличие вспыхивающей активности зависит не только от массы, светимости, возраста звезды, но и от других факторов. В таком случае необходимо выяснить природу этих факторов. Важно, что на основа-

нии наблюдений можно попытаться ответить на вопрос, все ли звезды малой массы вспыхивают, а они составляют подавляющее большинство звезд в нашей Галактике. Для решения этого вопроса существенно знание полного числа вспыхивающих объектов в каждом агрегате на данном этапе его развития. Однако открывать вспыхивающие звезды очень трудно.

Вспышки звезд происходят периодически, их нельзя предсказывать. Чтобы открыть вспыхивающую звезду, мы должны подкараулить хотя бы одну ее случайную вспышку. При этом обычно используется фотографический метод. Наблюдатель делает на одной пластинке несколько пяти- или десятиминутных выдержек. Выдержки следуют одна за другой. На фотопластинке получается цепочка звездных изображений. И если одно или несколько изображений оказываются ярче других, вспышка зарегистрирована.

Фотографический метод имеет существенный недостаток — его точность очень мала. Нельзя считать реальными вспышки, амплитуда которых меньше половины звездной величины. Неужели фотографическая фотометрия до сих пор не научилась давать

большую точность? На самом деле, точность фотографических измерений в среднем составляет 0,1 звездной величины. Но каждый снимок скопления Плеяд запечатлевает множество звезд. Среди них могут быть такие, для которых ошибка при измерении яркости в несколько раз превосходит среднюю ошибку, и такое явление легко принять за вспышку. Поэтому наблюдатели доверяют лишь тем вспышкам, амплитуда которых не меньше 0,6—0,7 звездной величины. Вспышки такой мощности у звезд происходят обычно крайне редко — примерно одна за 1000 часов. Подкараулить вспышку, непрерывно фотографируя, трудно. Еще труднее набрать ценный наблюдательный материал, который охватывал бы много тысяч часов. Поэтому нужно отдать должное профессору Аро, открывшему две сотни вспыхивающих звезд.

Если открывать вспыхивающие звезды так трудно, то можно ли, не обнаружив все звезды, узнать все-таки их полное число в данном агрегате? Оказывается, можно. В 1968 году нами был предложен способ оценки полного числа вспыхивающих звезд в скоплении. Как это делается? Допустим, в каком-то скоплении открыто

Фрагмент фотографии скопления Плеяд, полученной в Бюраканской астрофизической обсерватории. При фотографировании были сделаны одна за другой десять экспозиций, поэтому каждая звезда имеет десять изображений. Вспыхивающая звезда (окружена) дала только четыре изображения, ибо вне вспышки она очень слабая.



40 вспыхивающих звезд. Пусть все эти звезды наблюдались во время вспышки только по одному разу. Последовательность вспышек у каждой звезды представляет собой некоторый случайный процесс. Для данного периода наблюдений (то есть всей длительности фотографических экспозиций, произведенных за рассматриваемый период) должна существовать некоторая вероятность того, что какая-то звезда вспыхнет. Будем считать эту вероятность одинаковой для всех вспыхивающих звезд нашего скопления. Если бы она была значительно больше $1/40$, то за период наблюдений хотя бы одна из открытых 40 звезд вспыхнула бы вторично. Но вспышки не было. Следовательно, вероятность наблюдения вспышки для каждой звезды была порядка $1/40$ или меньше. Значит, полное число вспыхивающих звезд в скоплении около $40 \cdot 40 = 1600$ или больше. Эти грубые рассуждения можно сделать более строгими, математическими. Используя их, удастся предсказать минимальное число вспыхивающих звезд в каждом скоплении.

На основании опубликованных к 1968 году данных о 60 звездах в Плеядах, у которых наблюдались вспышки, было предсказано, что полное число вспыхивающих звезд в этом скоплении больше 320. В то время такое утверждение могло показаться и показалось рискованным. Однако оно не только оправдалось, но оказалось даже слишком осторожным.

С 1968 года в Бюраканской астрофизической обсерватории выполняется довольно обширная программа наблюдений Плеяд на двух телескопах сразу — 40- и 21-дюймовом. Наблю-

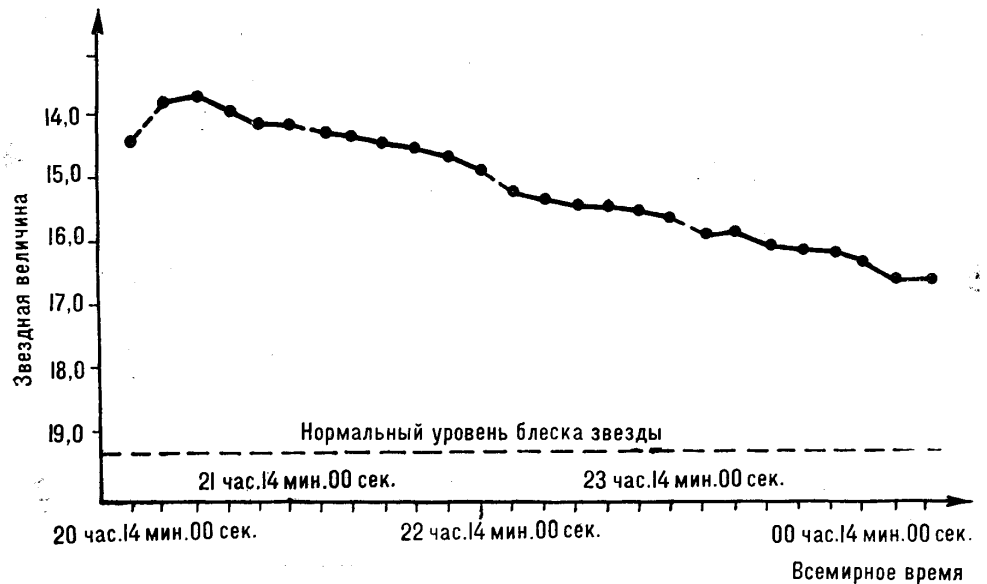
дения вспыхивающих звезд ведутся совместно с обсерваториями Тонанцинтла и Азиаго. В Абастуманской астрофизической обсерватории исследуется ассоциация в Орионе. В результате большой кооперативной работы в Плеядах было открыто еще 300 вспыхивающих звезд (135 из них — в Бюраканской обсерватории). Но и теперь нельзя утверждать, что мы открыли все вспыхивающие звезды в Плеядах. Как показывают расчеты, истинное число таких звезд в скоплении больше 900 и, вероятно, даже 1000. Но небольшая часть из них принадлежит фону. Известно, например, что на Плеяды проецируется одна вспыхивающая звезда, которая на самом деле входит в состав другого скопления — Гиады. Между прочим, эта звезда показывает повышенную частоту вспышек и она неоднократно наблюдалась как вспыхивающая. По имеющимся оценкам, которые мне кажутся несколько завышенными, примерно 20% вспыхивающих звезд в Плеядах — объекты фона. Тогда в самом скоплении должно быть около 800 вспыхивающих звезд.

Помимо открытия 135 вспыхивающих звезд, бюраканские астрономы наблюдали у 140 ранее обнаруженных звезд повторные вспышки. Теперь, когда уже известно так много вспыхивающих звезд в Плеядах, из двух вспышек, которые регистрируются в Бюракане, одна приходится на уже известную звезду. Но это вовсе не означает, что в скоплении открыта половина вспыхивающих звезд. В первую очередь наблюдаются вспышки тех звезд, у которых средняя частота вспышек больше. К сожалению, астрономы не располагают точной ин-

формацией о распределении средней частоты вспышек звезд, поскольку определить ее для каждого объекта в отдельности пока не удастся. Можно лишь утверждать, что подавляющее большинство вспыхивающих звезд Плеяд имеет среднюю частоту фотографических вспышек, амплитуда которых превосходит 0,6—0,7 звездной величины, — одна за 2000 часов и небольшая часть звезд в 10 раз выше. По-видимому, у большинства вспыхивающих звезд Плеяд вспышки либо еще не наблюдались, либо наблюдались одна-две.

Самое интересное, что все вспыхивающие звезды Плеяд, открытые в последнее время, расположены в той же области видимых (а следовательно, и абсолютных) величин, что и ранее известные. Все они имеют спектральные классы K2 и позднее, а визуальные звездные величины — больше 13, что соответствует абсолютной величине +7,5. Вероятно, большинство членов Плеяд (слабее 13-й звездной величины) являются вспыхивающими звездами, ибо, если допустить, что число невспыхивающих слабых объектов Плеяд того же порядка, что и вспыхивающих, масса скопления получается слишком большая. Звезды ярче 13-й величины, по-видимому, в Плеядах не вспыхивают, хотя некоторый процент вспыхивающих объектов среди них есть.

Несомненно, у вспыхивающих звезд существует явление цикличности. В определенные периоды времени (на протяжении нескольких лет) звезда бывает активнее, в другие — менее активной. Словом, вспыхивающая звезда имеет максимум и минимум вспышечной активности. Прошу



учесть, что у большинства звезд замечено всего несколько вспышек, поэтому точное описание этого явления пока невозможно. Но некоторые статистические выводы удается сделать. Можно утверждать, что все, или почти все, звезды на ранних этапах своего развития проходят через вспышечную фазу, которая следует за фазой типа Т Тельца.

Изменения интенсивности вспышечной активности обнаружено только у звезды UV Кита, принадлежащей окрестностям Солнца. Возможно, что часть звезд Плеяд находится в минимуме своей вспышечной активности, поэтому они все еще остаются неоткрытыми. В дальнейшем выяснится, действительно ли те из звезд Плеяд 13—15-й величины, которые не показали пока ни одной вспышки, перестали вообще вспыхивать или они за последние годы были в минимуме вспышечной активности.

Любопытно, что астрономам долго не удавалось открыть вспыхивающие звезды. Например, Плеяды тысячи раз фотографировались до начала поисков вспыхивающих звезд в обсерваториях Тонантцигла и Бюраканской. Когда я учился в Ленинградском университете, наш руководитель Г. А. Тихов начинал практические занятия по астрофотометрии, используя фотографии Плеяд. На пластинках с изображением Плеяд студенты определяли звездные величины и выполняли другие измерительные работы. И все-таки ни одной вспышки не было обнаружено. А ведь вспыхивающие звезды в максимуме иногда достигают 11-й звездной величины. Случилось это, вероятно, потому, что раньше применялись лишь длительные экспозиции.

Мы теперь знаем, как протекает вспышка. Это — кратковременное событие. Блеск возрастает очень быстро, за 10—30 секунд. Затем следует гораздо более медленное падение блеска. Вся вспышка продолжается около получаса, отдельные мощные вспышки — более часа. Вероятно, мы имеем дело с чрезвычайно быстрым явлением взрывного характера. Но какова природа этого взрыва, не известно. Еще на заре исследований вспыхивающих звезд, когда были открыты только первые вспыхивающие объекты, нами было высказано предположение, что при вспышках выбрасывается какое-то вещество, с которым сразу же происходят процессы типа ядерного распада. Уже тогда было ясно, что никаким истечением горячего газа объяснить явление вспышки невозможно. Даже в солнечных вспышках, мощность которых ничтожна по сравнению со звездными, вероятно, идут ядерные реакции. («Земля и Вселенная», № 4, 1973 г.,

стр. 47.— Ред.) Какая-то связь между энергией вспышки и ядерными процессами, несомненно, существует. Правда, можно представить, что какие-то гидродинамические процессы приводят к таким случайным концентрациям энергии, которые порождают необычайно ускоренные частицы. Их удары и вызывают ядерный распад. Мне кажется, что это — очень неподходящее предположение.

Я хочу обратить особенное внимание на быстроту возрастания блеска и резко взрывной, катастрофический характер вспышек звезд. Очевидно, здесь происходит какой-то процесс освобождения энергии. Можно думать, что при вспышках наружу выносятся остатки сверхплотного дозвездного вещества, в котором начинается ядерный распад. Вообще, можно не решать пока, какова природа источников энергии, принимая лишь, что при вспышках освобождается энергия из каких-то компактных масс. Освобождение может происходить над фотосферными слоями или непосредственно под ними. В обоих случаях будет наблюдаться вспышка. Но первая вспышка будет очень быстрой, а вторая — медленной, ибо энергии требуется некоторое время, чтобы выйти из-под фотосферы наружу. Медленные вспышки долго не удавалось наблюдать, но благодаря неутомимой деятельности Аро такие вспышки обнаружены. В Бюракане зарегистриро-

■ *Кривая блеска медленной вспышки звезды в Плеядах 15 сентября 1972 года. Оценки блеска проводились по изображениям звезды, полученным на нескольких последовательно снятых пластинках. Первые наблюдения были выполнены вблизи максимума вспышки. Вспышка продолжалась и после окончания наблюдений*



ваны три вспышки, у которых возрастание блеска заняло более получаса. Одна медленная вспышка, которую наблюдали Г. Аро и Э. Парсамян, работавшая в обсерватории Тонанцинтла, продолжалась много часов. Медленные вспышки, если они протекают именно так, как я предполагаю, должны быть заметны только в тех случаях, когда их энергия велика. Возможность для их наблюдения поэтому менее благоприятна. И все-таки эти вспышки открыты и подробно изучаются.

В заключение хочу сформулировать вывод, который мне кажется весьма существенным для теории звездной эволюции — теории, основывающейся на эмпирических данных. Звезды на разных этапах развития характеризуются двумя видами активности: всю свою жизнь они излучают электромагнитную энергию и на ранних стадиях длительное время испытывают вспышки. Вообще говоря, вспышечная стадия занимает значительную часть жизни звезды, хотя у массивных звезд она менее продолжительная. У звезд, с массой, близкой к солнечной или чуть меньше, время вспышечной активности составляет около 1% от возраста звезды.

Сколько энергии выделяется при вспышке? Составляет ли она за период, скажем 100 лет, значительную часть той энергии, которая в это же время излучается звездой? Если считать, что при вспышке энергия выделяется главным образом в форме электромагнитной, то она не превышает 1—2% от суммарной энергии излучения звезды. Но поскольку механизм излучения энергии во вспышках имеет явно нетепловую природу,

КАК РАСШИРЯЮТСЯ ОСТАТКИ СВЕРХНОВЫХ

Во время вспышки Сверхновая звезда сбрасывает газовую оболочку, которая расширяется в межзвездной среде. В остатках Сверхновых — Крабовидной туманности и Кассиопеи А — наблюдаются плотные холодные волокна. Скорость их перемещения того же порядка, что и скорость расширения оболочки. Когда оболочка начинает тормозиться межзвездной средой, эти волокна в силу большой инерции продолжают двигаться с прежней скоростью. Они, как языки, выдвигаются из туманности. По мнению астронома Специальной астрофизической обсерватории АН СССР К. В. Бычкова, магнитное поле не способно остановить волокно. Когда «язык» достаточно далеко выйдет из туманности, магнитное поле уже не мешает его выдвигению, поскольку энергетически более выгодно отделение волокна от туманности. Оно отрывается путем перезамыкания силовых линий магнитного поля, вмороженного в волокно и в туманность.

Какова дальнейшая судьба волокна, потерявшего непосредственную связь с туманностью? Оказывается, если магнитное поле в нем сильное, волокно может пройти значительное расстояние в межзвездной среде, не затормозившись. И такие волокна доступны наблюдениям. В радиодиапазоне излучают релятивистские электроны, заключенные в волокнах. От волокон следует ожидать

также излучения в линии H_{α} и в другой линии водорода L_{α} . Волокна могут служить хорошим критерием возраста туманности, из которой они вышли.

«Астрономический журнал», 51, 1, 1974.

ГРУППА ПЯТЕН НОВОГО ЦИКЛА?

На снимке Солнца, полученном в 4 часа 30 минут по Всемирному времени 5 декабря 1973 года на Уссурийской станции Службы Солнца, зарегистрирована одиночная пора площадью 11 миллионных долей полусферы. Пора располагалась на 16° восточнее центрального меридиана Солнца, на гелиографической широте $+38^{\circ}, 0$. Это пятно может оказаться «первой ласточкой» нового 11-летнего цикла (№ 24). Необходимы исследования магнитной полярности.

Пятна старого цикла во втором полугодии 1973 года наблюдались на широтах, не превышающих 20° . Средние широты зоны пятен составляли в северном полушарии $11^{\circ}, 0$, в южном $9^{\circ}, 9$. Обычно высокоширотные пятна нового цикла появляются незадолго перед минимумом активности, в среднем за $1,2 \pm 0,7$ года до него. Интересно отметить, что в следующем 11-летнем цикле может сохраниться преобладание активности пятен северного полушария над южным, наблюдаемое на Солнце с 1958 года.

Кандидат физико-математических наук
В. Ф. ЧИСТЯКОВ

то вполне возможно, что мы, наблюдая в доступной нам области спектра, видим лишь незначительную долю полной энергии вспышек. Остальную, гораздо большую часть, уносят энергичные частицы, образующиеся при вспышках, либо испускается она не в видимом, а в других диапазонах спек-

тра. И тогда получается, что на вспышечной стадии развития звезда излучает примерно столько же энергии, сколько и на других стадиях.

Итак, изучение вспыхивающих звезд приводит к выводам, весьма неожиданным для чисто дедуктивной теории звездной эволюции.