

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 7

НОЯБРЬ, 1971

ВЫПУСК 4

ФУОРЫ

В. А. АМБАРЦУМЯН

Поступила 3 августа 1971

Объекты типа FU Ориона (фуоры) характеризуются тем, что они вдруг за короткий промежуток времени повышают свою светимость в наблюдаемой части спектра более чем в сто раз, после чего долгие годы сохраняют повышенную светимость. Дается объяснение этому явлению на основе предположения, что до подъема блеска в области, непосредственно окружающей звезду, имеются источники энергии, большая часть которой выделяется в виде энергии корпускулярного излучения. Во время подъема блеска образуется, как показывают наблюдения, оболочка, внутри которой оказываются эти внешние источники. Поэтому после подъема блеска почти вся энергия источников испускается в виде потока теплового излучения.

Проведена параллель между различиями в излучении префуора и постфуора, с одной стороны, и различиями между излучением быстрых и медленных вспышек, с другой стороны. В случае верности построенной картины медленные вспышки, возникающие в результате освобождения энергии под фотосферой, должны излучать в фотографических лучах в сто раз больше энергии, чем эквивалентные им (по энергии взрыва) быстрые вспышки.

Хорошо известно, что проблемам звездной эволюции посвящено огромное число работ, носящих главным образом теоретический характер. Авторы этих работ обычно исходят из существующей теории внутреннего строения звезд. Они рассматривают эволюцию звезды как последовательный переход от одних равновесных моделей к другим. Принимается, что эволюция звезды обусловлена ходом термоядерных реакций и постепенным расходом вступавших в эти реакции ядер.

Мы здесь не будем критиковать такой теоретический и несколько схематический подход. Отметим лишь, что, на наш взгляд, он не оказался достаточно плодотворным. Поэтому целесообразно вновь обратить большее внимание на другой путь изучения эволюции звезд,

основанный на анализе наблюдательных данных. Как известно, этот второй путь в свое время позволил получить значительную информацию о ранних стадиях развития звезд различных масс, о групповом звездообразовании и т. д.

При анализе наблюдательных данных не следует пренебрегать изучением и таких явлений, которые кажутся настолько редкими и так легко могут потонуть среди моря внешне подобных им фактов, что при поверхностном рассмотрении кажутся не столь существенными. Более того, их большая редкость может заставить ошибочно считать объекты, в которых наблюдаются эти явления, какими-то исключениями, как бы уродами, не могущими повлиять на выявление общих закономерностей звездной эволюции. Между тем, если какое-либо быстро протекающее явление происходит, скажем, лишь один раз за время жизни звезды, оно будет наблюдаться среди окружающих нас звезд крайне редко, несмотря на то, что оно может быть закономерной и даже очень важной ступенью эволюции всех звезд или, скажем, звезд, имеющих массы, заключенные в определенных пределах.

Здесь мы хотим обратить внимание на одну весьма редко наблюдаемую группу явлений, которая при тщательном изучении, как нам кажется, может пролить некоторый свет на вопросы звездной эволюции.

1. *Звезды типа FU Ориона.* В конце прошлого года от шведского астронома Гуннара Веллина нами был получен препринт его краткого сообщения касающийся следующего: звезда Lk H₂ 190 находящаяся в туманности Северной Америки (NGC 7000) среди группы звезд с яркими линиями (типа Т Тельца и др.) и имевшая по Хербигу в 1957 г. величину $m_{pg} = 16.0$ и мало менявшая в те годы свою яркость, оказалась в 1970 г. имеющей блеск [1] $m_{pg} = 10.0$. Сравнение различных негативов указывает на то, что резкое возрастание блеска имело место в конце 1969 г. С тех пор блеск этой звезды изменился немного. Согласно фотовольтрическим измерениям Григоряна (Бюракан), в середине июня 1971 г. ее блеск равнялся $m_v = 10.8$. Нет сомнения, что в этом случае мы имеем дело с таким же резким подъемом блеска, какой имел место в 1936 г. в случае FU Ориона. Как известно, до подъема блеска звезда FU Ориона была 16-й величины, но после вспышки в 1936 году она стала ярче 10-й величины, а затем, медленно слабея, дошла, примерно, до $m_{pg} = 10.5$, причем теперь блеск почти не меняется. Таким образом, в обоих случаях звезда перешла из одного состояния, где ее блеск немного колебался

около некоторого низкого уровня, в другое состояние, где он примерно в 100 раз больше.

Мы нарочно не употребляем слово „вспышка“, а говорим о резком подъеме блеска, ибо речь идет об установлении нового, примерно в 100 раз более высокого уровня на длительный срок, измеряемый, по меньшей мере, сотнями лет. Чтобы избежать в таких случаях употребления термина „вспыхивающие звезды“, назовем такие объекты *фуорами*.

Заметим, что Р Лебеда является примером подобного же явления. Разница, с точки зрения состояния наших знаний об этих объектах, заключается в следующем.

В случае Р Лебеда единственная информация о состоянии звезды до подъема блеска заключается в том, что она не была видна невооруженным глазом. Теперь же у нее $m_{pk} = 4.8$.

В случае FU Ориона мы знаем блеск и до подъема светимости ($m = 16.0$). Но только в случае Lk H₂ 190 мы знаем также спектр до подъема блеска, который соответствовал позднему карлику типа Т Тельца [2]. К сожалению, вследствие малости дисперсии Хербиг не дал определения спектрального типа по линиям поглощения. Имеются и другие объекты, у которых наблюдалось значительное повышение блеска за короткий период с дальнейшим установлением более или менее стационарного состояния. Поэтому не следует исключать возможность после анализа соответствующих наблюдений включения их также в группу звезд-фуоров.

Существенно, что как FU Ориона, так и особенно Lk H₂ 190, показывают после подъема блеска спектральные особенности, характерные для звезд относительно высокой светимости. В частности, у звезды Lk H₂ 190 наблюдаемая эмиссионная линия H₂ имеет с коротковолновой стороны абсорбционный компонент, смещенный на 420 км/сек. Иными словами, у этой звезды ныне имеет место непрерывное истечение вещества, подобное тому, которое установлено у Р Лебеда. Как известно, в результате такого истечения вокруг звезды должна возникнуть протяженная оболочка. Кроме того, оказывается, что атмосферы Lk H₂ 190 и FU Ориона богаты литием, что является характерным для молодых звезд. Наконец, все три упомянутых звезды находятся в звездных ассоциациях.

Если придерживаться обычных представлений о звездном излучении, то переход звезды с одного уровня более или менее стационарной светимости к другому, во много раз более высокому, должен быть объяснен изменением суммарной мощности источников энергии в звезде. Однако трудно представить себе, что за несколько месяцев

внутреннее строение звезды могло бы настолько измениться, чтобы суммарная мощность источников возросла бы более, чем в 100 раз. Поэтому следует найти другое объяснение.

Сущность предлагаемого нами объяснения заключается в том, что в пространстве над фотосферой некоторых или всех звезд типа Т Тельца, где-нибудь в области короны или даже выше, имеются интенсивные и постоянно действующие источники энергии. Часть этой энергии выделяется в виде нетеплового непрерывного излучения в голубых, фиолетовых и ультрафиолетовых лучах. У некоторых звезд типа Т Тельца это излучение настолько сильно, что непосредственно наблюдается в виде „ультрафиолетового эксцесса“ в спектре соответствующей звезды (например, ХХ Ориона, NS Ориона, NX Единорога). Максимум этого нетеплового излучения находится, однако, в более далеком ультрафиолете и не наблюдается с поверхности Земли. Во многих случаях простирающийся до наблюдаемого с Земли близкого ультрафиолета „хвост“ этого эксцесса может быть настолько слаб, что незаметен на фоне теплового излучения самой звезды в тех же длинах волн. Тем не менее, наличие эксцесса в далеком ультрафиолете можно довольно уверенно устанавливать, исходя из наличия в спектрах этих звезд эмиссионных линий. Мы не останавливаемся здесь на вопросе о том, какая часть энергии, отдаваемой нетепловыми источниками, превращается в электромагнитное излучение и какая часть выделяется в виде кинетической энергии корпускул, выбрасываемых в окружающее пространство. Однако, если принять, что выделяемая энергия есть результат неизвестных нам первичных процессов типа ядерного распада, то коэффициент конверсии этой энергии в *наблюдаемые с поверхности Земли фотографические лучи* в тех случаях, когда освобождение энергии происходит в разреженном околозвездном пространстве, должен быть очень мал. Вероятно, он меньше, чем 0.01. Вся остальная энергия предполагаемого процесса распада должна выделяться либо в виде кинетической энергии испускаемых при этом и уходящих в мировое пространство частиц, либо же в виде более коротковолнового электромагнитного излучения, не пропускаемого нашей атмосферой.

С другой стороны, когда вокруг подобной звезды по каким-либо причинам (например, вследствие начавшегося процесса истечения) образована оболочка, непрозрачная не только для коротковолнового излучения, но и для частиц высоких энергий, то *вся энергия*, выделяемая источниками, *оказавшимися внутри оболочки*, будет испускаться в виде теплового излучения последней, и при температурах оболочки порядка $10\,000^\circ$ коэффициент конверсии в *фотографические лучи* будет близок к единице.

Иными словами, образование оболочки должно в этих условиях повести к усилению превращения в фотографические лучи энергии, выделяемой предполагаемыми источниками, более чем в сто раз.

Таким образом, мы предполагаем, что дело не в увеличении мощности источников энергии, а в *увеличении, благодаря появлению оболочки, коэффициента конверсии в фотографические лучи энергии*, выделяемой предполагаемыми источниками.

Ультрафиолетовый эксцесс, наблюдаемый у некоторых звезд типа Т Тельца, имеет примерно такое же распределение энергии, что и излучение вспышек звезд типа UV Кита. Поэтому ряд исследователей высказывал предположение, что в обоих случаях мы имеем дело, по-существу, с одним и тем же физическим процессом, но только у вспыхивающих звезд он носит строго дискретный характер.

Тем более интересно, что в случае вспыхивающих звезд мы имеем дело с такими же различиями в коэффициенте конверсии, какие мы вынуждены были допустить у фуоров до и после процесса подъема блеска. В третьем разделе рассматриваются причины этих различий.

2. *Понятие о калориметрических звездных величинах.* Известно, что при обсуждении вопросов, касающихся светимости звезд, оказалось очень полезным ввести понятие о видимых и абсолютных болометрических величинах и болометрических поправках к визуальным или фотографическим величинам. В отношении тел, которые испускают в окружающее пространство значительное по количеству уносимой кинетической энергии корпускулярное излучение, желательно наряду с болометрическими величинами, характеризующими полную мощность электромагнитного излучения, ввести систему звездных величин, характеризующих всю испускаемую за единицу времени энергию, включая как полную энергию электромагнитного излучения, так и кинетическую энергию всех испускаемых корпускул. Эту систему целесообразно назвать *калориметрической* системой звездных величин. Естественным определением таких звездных величин может служить формула

$$m_{\text{kal}} = m_{\text{bol}} - 2.5 \lg \frac{L_k + L}{L}, \quad (1)$$

где L есть светимость в электромагнитных волнах, а L_k — полная кинетическая энергия, уносимая в единицу времени испускаемыми частицами. Соответственно можно дать определение калориметрических поправок.

Сделаем попытку определить „калориметрическую поправку“

$$\delta' = m_{\text{kal}}^* - m_{\text{pg}}^* \quad (2)$$

для фуора до подъема его яркости. В дальнейшем все звездные величины, относящиеся к стадии, предшествующей подъему блеска, будем обозначать одним штрихом, а относящиеся к стадии после подъема блеска и успокоения звезды — двумя штрихами. В таком случае сущность нашей гипотезы можно выразить уравнением

$$m_{\text{kal}}^* = m_{\text{bol}}^* \quad (3)$$

Сравнивая (3) и (2), можем написать

$$\delta' = (m_{\text{bol}}^* - m_{\text{pg}}^*) + (m_{\text{pg}}^* - m_{\text{pg}}^{**}). \quad (4)$$

Первый член правой части (4) представляет собой *болотрическую поправку к фотографической величине* (а не к визуальной, как обычно определяется болотрическая поправка) *после вспышки*. Поскольку предполагается, что после подъема блеска фуор дает нормальное тепловое излучение, эта поправка может быть вычислена по эффективной температуре. Для $T = 10\,000$ она равна -0.4 . Вероятно, такая поправка хорошо соответствует как FU Ориона, так и Lk H_a 190. Что касается второго члена формулы (4), то он представляет собой непосредственно наблюдаемую величину подъема блеска, которая в обоих случаях равна 5. Таким образом, имеем

$$\delta' = -5.4.$$

Однако полученная таким образом калориметрическая поправка для фуора, которому еще предстоит подъем блеска (префуор), не имеет простого физического смысла, так как электромагнитное излучение префуора состоит из двух частей: теплового излучения (t) звезды и нетеплового излучения (nt), исходящего от источника (или источников), расположенного над фотосферой. Очевидно, что коэффициент конверсии освобождаемой этими источниками энергии в излучение фотографической части спектра определяется прежде всего второй частью. Поэтому мы должны искать калориметрическую поправку взятого в отдельности нетеплового излучения префуора. Обозначим эту поправку через δ . Имеем

$$\delta = m_{\text{kal}}^{*,nt} - m_{\text{pg}}^{*,nt} \quad (5)$$

Используем также равенство

$$10^{-0.4 m_{\text{kal}}^{*,nt}} = 10^{-0.4 m_{\text{kal}}^*} - 10^{-0.4 m_{\text{bol}}^{*,t}},$$

где m_{bol}^t означает болометрическую величину теплового излучения префуора. Это равенство означает, что калориметрическая светимость префуора в целом является суммой мощности теплового излучения звезды и калориметрической светимости нетепловых источников (производящих как корпускулярное, так и электромагнитное излучения). Учитывая также равенства (3) и (5), легко получить, что

$$\delta = m_{kal}^{nt} - m_{pg}^{nt} = (m_{bol}^t - m_{pg}^t) + (m_{pg}^t - m_{pg}^{nt}) - 2.5 \lg \left[1 - 10^{-0.4 (m_{bol}^t - m_{bol}^t)} \right]. \quad (6)$$

По-существу, однако, последний член очень мал (порядка нескольких сотых), и поэтому можем пользоваться формулой

$$m_{kal}^{nt} - m_{pg}^{nt} = (m_{bol}^t - m_{pg}^t) + (m_{pg}^t - m_{pg}^{nt}). \quad (7)$$

К сожалению, из спектральных наблюдений префуора Lk H₂ 190, произведенных Хербигом, нельзя определить величину нетеплового слагаемого в фотографических лучах. Поскольку, однако, это слагаемое не было особенно отмечено, то можно думать, что оно составляло не более 15% в фотографических лучах. Это означает, что $m_{pg}^{nt} > 18.0$. С другой стороны, большая интенсивность эмиссионных линий серии Бальмера у префуора говорит в пользу довольно большого эксцесса в далеком ультрафиолете. Исходя из этого, можно полагать, что в ближнем ультрафиолете эксцесс не мог быть намного меньше указанных 15%. Поэтому можно грубо принять $m_{pg}^{nt} \approx 18.0$. Таким образом, из (7) для Lk H₂ 190 следует

$$\delta = m_{kal}^{nt} - m_{pg}^{nt} \approx -7.4.$$

Отсюда можно сделать заключение о степени эффективности преобразования выделяемой над фотосферами префуоров нетепловой энергии в фотографические лучи.

Как легко увидеть из таблиц болометрических поправок и показателей цвета планковского излучения, наибольшее значение разностей $m_{bol} - m_{pg}$ достигается при $T = 8000^\circ$ и равно -0.2 [3]. Поэтому полученное нами значение означает, что у префуора коэффициент конверсии освобождаемой энергии в фотографические лучи по меньшей мере в 700 раз меньше, чем при нормальном тепловом излучении звезд типа F, где он максимален. Все это означает, что подъем яр-

кости фуора связан с увеличением указанного коэффициента конверсии по крайней мере в несколько сот раз. В дальнейшем такая же разность δ будет, правда, очень грубо, определена нами для энергии, освобождающейся при быстрых вспышках у молодых звезд, входящих в звездные агрегаты.

3. Медленные и быстрые вспышки у вспыхивающих звезд.

В настоящем разделе мы хотим несколько подробнее, чем это было сделано в 1954 году [8], остановиться на вспышках, происходящих у некоторых поздних карликов типа UV Кита в окрестности Солнца и у более широких групп карликов в ассоциациях (Орион, NGC 2264, NGC 7023) и в молодых скоплениях (Плеяды).

Суть выдвинутого нами тогда представления заключалась в том, что каждая вспышка является результатом освобождения некоторого количества энергии, которое до вспышки было сильно сконцентрировано и заключено в некоторой порции „дозвездного вещества“. Мы намеренно избегали строить гипотезы о природе этого дозвездного вещества, подчеркивая лишь, что это не разреженное вещество, а скорее сверхплотное вещество. Таким образом, речь шла об определенных массах этого вещества, способных относительно долгое время находиться в стабильном состоянии, могущих быть вынесенными в пространство, окружающее звезду (может быть, в корональные слои и даже дальше, на расстояния, превосходящие несколько радиусов звезды), и могущих там подвергнуться почти мгновенному распаду.

То, что наблюдаемое явление происходит, как правило, над поверхностью звезды, вытекает из своеобразного распределения энергии в непрерывном спектре вспышки (большой ультрафиолетовый эксцесс). Здесь нет значительных количеств поглощающего вещества, а тем самым и условий для термализации спектра излучения. То, что здесь мы имеем дело со взрывом, а не спокойным расширением выброшенной из звезды массы горячего газа, что предполагалось рядом авторов, подтверждается фотоэлектрическими наблюдениями с большим временным разрешением, согласно которым время возрастания блеска часто измеряется, буквально, секундами.

Нами было указано, что наряду со случаями, когда освобождение энергии происходит над фотосферическими слоями, можно представить себе случаи освобождения энергии под фотосферическими слоями. Эти последние случаи можно в свою очередь разделить на две группы:

1) Освобождение энергии имеет место глубоко во внутренних слоях звезды, откуда энергия добирается до поверхности за многие годы или месяцы. В таком случае сам процесс выделения энергии

будет продолжаться только немногим более короткими сроками, т. е. затянется, по крайней мере, на месяцы или недели. Это значит, что мы не будем наблюдать никаких отдельных вспышек, а лишь общий усредненный их результат, сводящийся к некоторому увеличению яркости звезды.

2) Освобождение энергии имеет место непосредственно под фотосферическими слоями, на такой глубине, откуда энергия добирается (путем диффузии излучения или ионизационной волны) до поверхности в течение нескольких часов. Тогда и сам наблюдаемый процесс вспышки должен продолжаться несколько часов. При этом процесс повышения блеска звезды должен протекать гораздо медленнее, чем в тех случаях, когда освобожденная энергия проходит над поверхностью звезды, а цвет дополнительного излучения должен зависеть от амплитуды яркости. Чем меньше эта амплитуда, тем ниже должна быть цветовая температура дополнительного излучения.

Профессор Аро своими первыми наблюдениями „медленных вспышек“, резко отличающихся по своей природе от „быстрых вспышек“, целиком подтвердил существование двух классов вспышек у вспыхивающих звезд в Орионе, а недавнее открытие со стороны Парсамян [7] медленной вспышки в Плеядах показало, что медленные вспышки встречаются и у членов более старых агрегатов, чем ассоциация Ориона.

Теперь мы хотим обратить внимание на некоторые количественные данные, вытекающие из наблюдений, которые оказались в хорошем соответствии с нашей гипотезой о природе медленных и быстрых вспышек.

Дело в том, что если вспышки представляют собой результат распада сверхплотного вещества, т. е. какого-то тела ядерной плотности на совокупность частиц, то в пустоте конверсия энергии распада в оптическое излучение наблюдаемых нами частот будет очень мала. Большая часть энергии распада превратится либо в кинетическую энергию образовавшихся частиц (как это имеет место, например, при β -распаде), либо же в электромагнитное излучение типа γ -квантов, рентгеновских квантов или далекого ультрафиолета.

Совершенно другое положение будет иметь место, когда распад происходит под фотосферическими слоями. В этом случае *вся энергия распада*, кроме разве энергии нейтрино, будет превращена в тепловую энергию излучения звезды. Иными словами, в оптических лучах энергия вспышки должна в этих случаях быть во много раз больше, чем при быстрых вспышках. Отношение это трудно определить, не представляя более конкретного механизма процесса вспышки. Одной

из возможных конкретизаций является механизм, предложенный Гурзadyаном, когда на выделенных при распаде электронах (или позитронах) происходит антикомptonовское рассеяние квантов теплового излучения звезды. При таком механизме коэффициент конверсии должен быть меньше 0.01. Тогда энергия в оптических лучах при медленной вспышке должна более чем в сто раз превосходить энергию в оптических лучах, выделяемую при быстрых вспышках.

Наблюдения показывают, что 1) медленные вспышки наблюдаются во много раз реже, чем быстрые вспышки; 2) при медленных вспышках встречаются амплитуды не меньшие, чем при быстрых вспышках. Если в фотографических лучах наибольшие амплитуды быстрых вспышек в ассоциации Ориона достигают 5 величин, то одна из наблюдаемых Аро в Орионе (у звезды В30 177) медленных вспышек имела в тех же лучах амплитуду 8.4; 3) цвет излучения медленных вспышек более красный, чем у быстрых вспышек.

Первое из названных здесь обстоятельств связано, по-видимому, с тем, что для наблюдения медленной вспышки со сколько-нибудь заметной амплитудой необходимо, чтобы освобождение энергии имело место в слое относительно небольшой линейной толщины (может быть, порядка всего сотни километров) под фотосферой (случай 2). Для быстрых же вспышек освобождение энергии возможно на протяжении десятков и сотен тысяч километров над фотосферой. Если, например, считать, что распад дозвездных масс, выбрасываемых наружу, происходит более или менее спонтанно, то вероятность распада в каком-либо слое должна быть пропорциональна времени пребывания в этом слое, т. е. толщине слоя. Поэтому редкость медленных вспышек вполне понятна.

Второе из приведенных обстоятельств непосредственно указывает на то, что *при медленных вспышках наблюдаемая полная энергия выделившегося оптического излучения иногда в несколько десятков раз превосходит полную энергию, которая наблюдается в оптических лучах при быстрых вспышках*, поскольку при мощности излучения того же порядка длительность медленной вспышки в десятки раз больше. Таким образом, наблюдаемое соотношение полных энергий медленных и быстрых оптических вспышек находится в полном соответствии с развитым выше представлением о различных значениях коэффициента конверсии в этих двух случаях.

Наконец, третье из упомянутых обстоятельств тоже вполне соответствует нашему представлению о природе медленных вспышек.

Итак, имеющиеся пока данные о различиях между медленными и быстрыми вспышками подтверждают гипотезу, согласно которой вспышки связаны с высокоэнергетическими процессами распада.

4. *О коэффициенте конверсии энергии распада во время звездных вспышек.* Исходя из того, что префуоры и вспыхивающие звезды являются членами одних и тех же звездных ассоциаций, можно думать, что процессы распада и освобождения энергии имеют в обоих случаях одну и ту же физическую природу. Тогда можно было бы ожидать, что коэффициент конверсии в пустоте освобождаемой энергии в фотографические лучи при этих процессах должен быть одинакового порядка. Выше мы видели, что во время медленных вспышек мы измеряем звездную величину, которая с учетом некоторых поправок соответствует полной энергии взрыва, в то время как при быстрой вспышке только небольшая часть освобождающейся энергии выделяется в виде фотографических лучей. Однако в отличие от фуоров в данном случае трудно определить значение калориметрической поправки δ , так как сравнивая данные о какой-либо медленной вспышке с данными о какой-либо быстрой вспышке, мы никогда не можем быть уверены, что два соответствующих взрыва были идентичными по своему масштабу. Поэтому результаты таких сравнений при всей нашей осторожности могут дать лишь качественные результаты.

Однако проблему можно решить, если бы в нашем распоряжении был богатый статистический материал. Например, мы могли бы взять для сравнения такую быструю вспышку, что ровно 10% всех быстрых вспышек обладали бы в фотографических лучах большей энергией, чем выбранная вспышка. Точно так же мы могли бы среди медленных вспышек выбрать такую, что только 10% всех медленных вспышек обладают энергиями, большими, чем энергия данной вспышки. Такие две вспышки можно было бы считать результатом взрыва одинакового масштаба, с той разницей, что одна произошла *над* фотосферой, а другая — *под* фотосферой.

Помимо отсутствия достаточного материала для подобных тестов, следует сказать, что результаты могут быть сильно искажены влиянием различий в вероятности обнаружения вспышек разного типа. Поэтому пришлось бы придумывать более тонкие статистические тесты, которые требуют, в свою очередь, еще большего количества наблюдательных данных. Между тем, как упоминалось, они пока отличаются крайней скудностью. Поэтому мы вынуждены произвести более грубые сравнения, чем даже упомянутый статистический тест.

Мы можем констатировать, что подавляющее большинство быстрых вспышек, наблюдаемых в Орионе, имеет ультрафиолетовую амплитуду ΔU менее шести звездных величин, хотя в редких случаях такая амплитуда была достигнута и даже превзойдена. Медленная вспышка звезды ВЗО 177 27.XII.1965 [4] является самой мощной

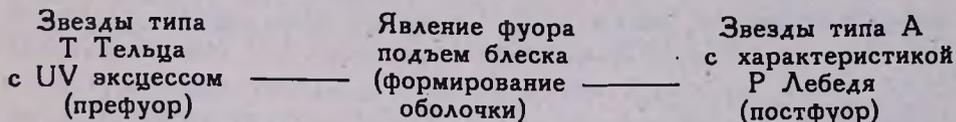
из всех наблюдаемых в ассоциации Ориона вспышек. Поэтому можно считать, что если мы примем ее эквивалентной быстрой вспышке с амплитудой $\Delta U = 6.0$, то не допустим большой ошибки. Но амплитуда медленной вспышки ВЗО 177, о которой идет речь, в ультрафиолете была $\Delta U = 8.4$. Таким образом, разность звездных величин в максимуме двух таких вспышек равна 2.4. Однако нужно учесть, что продолжительность пребывания в максимуме при медленной вспышке была порядка трех часов, в то время как при быстрых вспышках она не превосходит 15 минут. На самом деле время пребывания вблизи максимума при быстрой вспышке много меньше пятнадцати минут. Однако мы не должны забывать, что нас интересует энергия вспышки. Поэтому следующие две ошибки, возникающие при применяемом методе фотографических наблюдений вспышек почти точно друг друга компенсируют. Во-первых, в несколько раз переоценивается продолжительность пребывания вблизи максимума, а во-вторых, примерно в столько же раз уменьшается оцененная яркость звезды в максимуме из-за эффекта усреднения. Исходя из сказанного, можно утверждать, что при медленной вспышке, о которой идет речь, выделилось в U примерно в 200 раз больше энергии, чем при эквивалентной быстрой вспышке. Считая, что в случае медленной вспышки болометрическая ее величина соответствует калориметрической величине быстрой вспышки, мы можем написать

$$\begin{aligned} \delta &= m_{\text{ка}}^{\text{г}} - m_{\text{рг}}^{\text{г}} = (m_{\text{bol}}^{\text{с}} - m_{\text{рг}}^{\text{с}}) + (m_{\text{рг}}^{\text{с}} - m_{\text{рг}}^{\text{г}}) = \\ &= (m_{\text{bol}}^{\text{с}} - m_{\text{рг}}^{\text{с}}) + (U^{\text{с}} - U^{\text{г}}) + (m_{\text{рг}}^{\text{с}} - U^{\text{с}}) - (m_{\text{рг}}^{\text{г}} - U^{\text{г}}). \end{aligned} \quad (8)$$

Значки г и с обозначают здесь соответствующие величины для быстрых и медленных вспышек, однако нужно иметь в виду, что в отличие от п. 2 звездные величины, введенные здесь, характеризуют не мощность излучений, а интегралы от нее, взятые по продолжительности соответствующей вспышки. Иными словами, речь идет о сравнении излучаемых энергий. В таком случае, согласно приведенной оценке, второй член правой части равен -5.7 величины. Сумма двух последних членов выражения (8) представляет собой разность цветов $\Delta(U - m_{\text{рг}})$ для быстрой и медленной вспышек. Настоящего цвета медленной вспышки мы не знаем. Однако имеются указания, что они имеют более красный цвет. Считая, что эта разность заключена между -0.5 и -1.0 , примем ее равной -0.7 . Что касается первого члена правой части (8), то он представляет болометрическую поправку медленной вспышки, и было бы разумным считать его малым. Положив ее равной -0.3 , мы получим для калориметрической по-

правки быстрой вспышки $\delta = -6.7$. Сравнение этой цифры со значением δ для нетеплового излучения префуора показывает, что коэффициент конверсии в фотографические лучи в обоих случаях имеет один и тот же порядок величины.

5. *О продолжительности постфуорной стадии.* Итак, имеющиеся данные о фуорах позволяют думать, что процесс подъема их блеска связан со следующим переходом,



Хотя постфуоры представляют, вероятно, довольно однородную по многим физическим свойствам группу объектов, все же следует отметить, что в двух рассмотренных случаях (FU Ori и Lk H_a 190) абсолютные величины близки к нулю, в то время как у самой Р Лебеда, как и у других объектов типа Р Лебеда в О-ассоциациях, абсолютные фотографические величины порядка -7.0 . Следует признать, что мы пока не можем сказать, из каких объектов возникают *сверхгиганты* типа Р Лебеда, однако их частое присутствие в О-ассоциациях заставляет предполагать, что и здесь начальной фазой была звезда типа Т Тельца с источниками энергии огромной мощности.

Зная частоту явления фуоров, а также число объектов со спектральной характеристикой Р Лебеда, мы могли бы сделать оценку продолжительности постфуорной стадии, точнее, той ее части, в которой непрерывное истечение вещества продолжается с достаточной интенсивностью.

За последние пятьдесят лет (с 1920 года) наблюдалось всего два типичных фуора, которые после стабилизации их блеска остались звездами ярче $11^m 0$. Конечно, могли бы быть и случаи, когда на явление фуора не обратили внимания. Однако нужно считать, что если для данной области неба когда-либо производилось сравнение двух пластинок, разделенных длительным промежутком времени (порядка двух десятков лет или больше), то обнаружение вспыхнувшего за промежуток времени, протекший между двумя снимками в этой области неба, фуора, ставшего ярче $11^m 0$, должно быть произведено с вероятностью, близкой к единице. Хотя подобные сравнения производятся на обсерваториях настолько часто, что ими, несомненно, была уже охвачена большая часть северного полушария, все же обычно

промежутки времени между двумя снимками не очень велики. Если даже примем, что усредненное по всему небу значение максимального промежутка времени Δt , для которого производилось сравнение, равно 20 годам (считая при этом усреднении $\Delta t = 0$, если такие сравнения вовсе не производились), то получится, что мы могли бы обнаружить в лучшем случае лишь 40% фуорировавших за последние 50 лет и ставших ярче 11^m звезд. Тогда полное число звезд, фуорировавших за полстолетие в северном полушарии, окажется порядка 5; иными словами, за десятилетие фуорирует одна звезда. С другой стороны, если T есть средняя продолжительность той постфуорной фазы, когда характеристика P Лебеда в спектре еще может быть обнаружена, а вместе с тем блеск существенно не уменьшился, то для полного числа N_P звезд ярче 11.0 с P -характеристикой мы должны иметь

$$N_P = 0.1 \cdot T.$$

К сожалению, имеющиеся данные недостаточны для оценки числа N_P . Однако среди звезд каталога HD северного неба известно не более одного десятка звезд с P -характеристикой [5]. Хербиг [6] подробно исследовал спектры звезд, связанных с кометарными туманностями, но и там ему удалось обнаружить только 4 звезды с P -характеристикой, одна из которых, однако, 13^m . Тем не менее, можно считать, что более подробное изучение спектров основной массы звезд HD, в особенности в области линии H_α , позволит удвоить или даже утроить число выявленных объектов с P -характеристикой. Кроме того, HD содержит лишь небольшую часть (около одной трети) звезд ярче 11^m . Поэтому, очень грубо, можно считать, что на северном небе $N_P \approx 60$. Отсюда следует, что продолжительность интересующей нас постфуорной стадии должна быть порядка 600 лет. Впрочем, мы должны быть осторожны в наших выводах, так как истинной частоты появления фуоров, превращающихся в сверхгиганты типа P Лебеда, даже грубо мы не знаем. Продолжительность жизни этих сверхгигантов может быть намного большей, чем у постфуоров более низкой светимости.

Несомненно, однако, что фаза спектра типа P Лебеда у постфуоров низкой светимости непродолжительна. Наши расчеты были очень грубыми, но все же можно утверждать, что постфуорная стадия в этих случаях продолжается не более, чем срок порядка одной тысячи лет. Но тогда возникает вопрос, что происходит после завершения этой стадии, т. е. что представляют из себя постпостфуоры, воз-

вращается ли звезда к своему первоначальному блеску, т. е. к блеску префуора, или же сохраняет повышенную яркость? На этот вопрос пока трудно ответить. Несомненно лишь, что случая резкого падения блеска (антифуор) до сих пор не было открыто. Поэтому остаются две возможности: сохранение достигнутого уровня блеска или постепенная ликвидация оболочки с падением блеска в течение десятилетий или столетий. Если была бы справедлива первая возможность, то в течение, скажем, сотни миллионов лет должно было бы накопиться до десяти миллионов постфуоров, имеющих видимый блеск ярче 11 величины. Однако такого количества звезд ярче 11 величины вообще нет. Поэтому приходится сделать заключение, что через короткое время блеск звезды должен вновь падать.

6. *О природе источника нетеплового и корпускулярного излучения префуора.* В настоящее время трудно сказать что-либо определенное о природе источника нетеплового и корпускулярного излучения префуора. Мы сознательно не касались этого вопроса, так как знание природы источника может быть существенно лишь при более детальном исследовании фуоров. Отметим лишь, что нельзя сразу исключить предположение, что таким источником является сверхплотный спутник той звезды (красного карлика), который дает тепловое излучение префуора. Нельзя, далее, исключить того, что оболочка выбрасывается сверхплотным компонентом. В этом случае обязательно, чтобы красный карлик в постфуорной стадии находился внутри оболочки. Его излучение будет просто незаметно в присутствии излучения оболочки. В этом случае расстояние между компонентами может быть велико. Если даже оно будет равно десяткам астрономических единиц, это не будет противоречить наблюдениям.

Наоборот, если оболочка выбрасывается красным карликом, то сверхплотный спутник должен затем оказаться внутри оболочки, а это означает, что расстояние между компонентами не должно превосходить нескольких миллионов километров, что, вероятно, может привести к некоторым трудностям в объяснении деталей явления.

Возможны и другие предположения о природе источника. На данном этапе мы воздерживаемся от их подробного обсуждения.

Автор выражает глубокую благодарность д-ру Г. Веллину за присылку извещения о фуоре в Лебеде, проф. Г. Аро за письменное сообщение, в котором он независимо от автора пришел к представлению о новом классе объектов и подчеркнул возможную связь со звездными вспышками, а также Э. Парсамян за дополнительное освещение вопросов, относящихся к медленным вспышкам. Автор обязан

покойному К. Григоряну за устное сообщение о произведенных им оценках блеска фуора в Лебеде в июне 1971 года.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

FUORS

V. A. AMBARTSUMIAN

The FU Orionis stars (fuors) have the peculiarity that during comparatively a short time they strongly increase their luminosity in the observable part of the spectrum. An explanation of this phenomenon is given, which is based on the assumption that before the increase of brightness directly around the star some energy sources exist which mostly radiate the high energy particles. During the increase of brightness a shell of large radius is formed which envelops the sources as well. Therefore, after the formation of the shell the whole energy liberated by sources is transformed into thermal radiation.

A definite parallel exists between the differences of radiation of prefuor and that of postfuor on the one hand and the radiation of rapid and slow flares in flare stars on the other. If the picture we have built is valid the total energy of radiation in the photographic region of a slow flare, which occurs under the photosphere of the flare star, must be about one hundred times larger than the photographic radiation of the corresponding rapid flare (having the same energy of explosion).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. G. H. Herbig, IBVS, No. 543, 1971.
2. G. H. Herbig, Ap. J., 128, 259, 1958.
3. C. W. Allen, Astrophysical Quantities, Athlone Press, 1955.
4. G. Haro, E. Parsamian, Bol. Obs. Tonantzintia, 5, No. 31, 45, 1969.
5. P. Merrill, C. Borwell, Ap. J., 78, 87, 1933.
6. G. H. Harbig, Contr. Lick. Obs. Ser. II, No. 99, 1960.
7. Э. С. Парсамян, Астрофизика, 7, 500, 1971.
8. В. А. Амбарцумян, Сообщ. Бюр. обс., № 13, 1954.