АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16 МАЙ, 1980 ВЫПУСК 2

УДК 523.035

ОТВЕТ НА «КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ» Р. Е. ГЕРШБЕРГА

Г. А. ГУРЗАДЯН

Поступила 30 октября 1979

Показана предвзятость и несостоятельность выдвинутых Гершбергом возражений против гипотезы быстрых электронов.

Вопрос об ионизационных потерях быстрых электронов был рассмотрен во многих местах монографии [1] (гл. XII, стр. 280). Там было показано, что наблюдаемые световые кривые вспышек не могут быть объяснены, даже качественно, ни при каких значениях исходных параметров, если допустить возможность гибели быстрых электронов в атмосфере звезды, в результате ионизационных потерь. Отсюда делается один из основных выводов: быстрые электроны появляются только во внешних областях звезды, далеко от ее атмосферы. В этом случае потери энергии могут иметь место при взаимодействии самих быстрых электронов друг с другом. Однако, из-за разлета электронного облака и быстрого падения его концентрации, эти потери незначительны, и быстрые электроны покидают звезду практически сохранив свою первоначальную энергию. Именно такое поведение быстрых электронов находится в согласии с тем, что дают наблюдения для световых кривых многих и многих вспышек. На рис. 1 показаны два примера теоретических световых кривых, рассчитанных на основе только что описанной концепции, которые вместе с тем оказались в хорошем согласии с наблюдаемыми [2, 3] световыми кривыми двух довольно продолжительных вспышек, одна из которых (YZ CMi) — исключительно сильная, с амплитудой $\Delta U \approx 6^m$. Примеров взаимного согласия теоретических и наблюдаемых световых кривых имеется десятки. Согласие имеет место также в случае, когда принимается во внимание двухкомпонентный состав излучения вспышки — непрерывная эмиссия и излучение в линиях, с преобладанием последнего в заключительной фазе вспышки [4]. При

таких условиях фраза [5] о том, что «...рассмотрение кривых блеска вспышек... не дает сколь-нибудь серьезных доводов в пользу концепции Гурзадяна» остается просто непонятной.

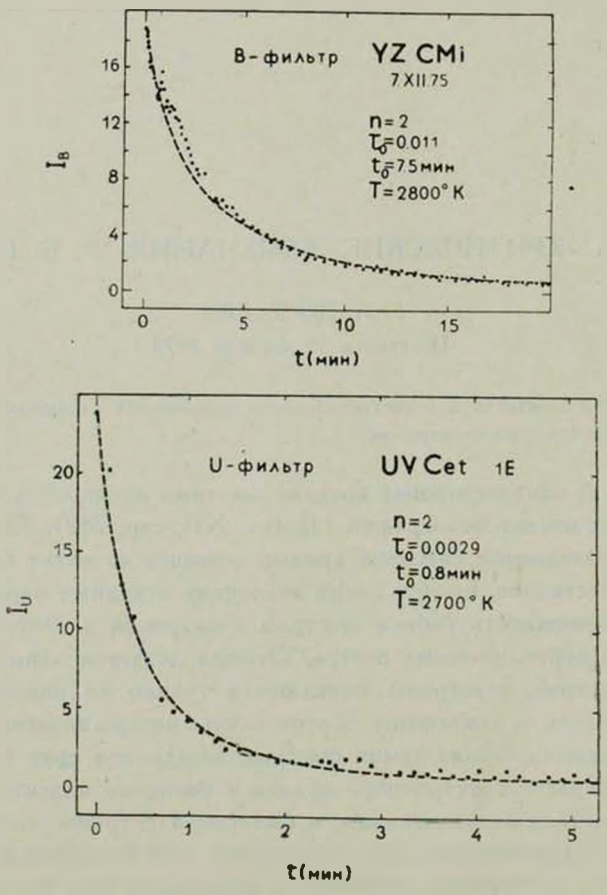

Рис. 1. Наблюдаемые световые кривые (точки) для вспышек YZ CMi [3] (7.XII.1975) и UV Cet (1E) [2]. Пунктирная линия — теоретическая световая кривая, построенная на основе гипотезы быстрых электронов при заданных параметрах вспышки τ_0, t_0, и T и сферического разлета быстрых электронов ($n = 2$). Счет времени начинается с момента максимума вспышки.

Поскольку в [5] ставится вопрос о «рафинированном» анализе цветов вспышек, то его надо делать действительно рафинированным до конца. Дело в том, что в наших построениях теоретических треков U—B ~ ~ B—V распределение энергии в спектре невозмущенной звезды принимается планковское, что нельзя считать строго приемлемым. В то же вре-

мя любые отклонения от планковского могут оказать заметное влияние на цветовые характеристики «чистой» вспышки.

В случае гипотезы быстрых электронов цвета «чистой» вспышки зависят, оказывается, от трех коэффициентов — k_1, k_2 и k_3, характеризующих степень отклонения от планковского распределения на ~ 3.6 мкм, ~ 4.4 мкм и ~ 5.5 мкм, соответственно. В этом случае цвета «чистой» вспышки даются следующими соотношениями [6]:

$$(B - V)_f = -2.5(0.44 - \lg(k_3/k_2)) + 1.04;$$

$$(U - B)_f = +2.5(-0.24 - \lg(k_2/k_1)) - 1.12.$$

Графики зависимостей $(B-V)_f \sim (U-B)_f$ для ряда значений k_3/k_2 и k_2/k_1 представлены на рис. 2. Там же точками нанесены наблюдаемые данные (около 200 точек), взятые из разых источников [5, 7, 8]. Как видим, почти всегда выполняется условие $k_3 > k_2 > k_1$, то есть отклонение нормального излучения звезды от планковского наибольшее на ~ 5.5 мкм и наименьшее на ~ 3.6 мкм. Среднее же положение точек соответствует значениям $k_2/k_1 = 2.10$ и $k_3/k_1 = 1.35$. Эти отклонения естественны и совсем невелики по сравнению с тем, что мы наблюдаем у звезд типа Т Тельца.

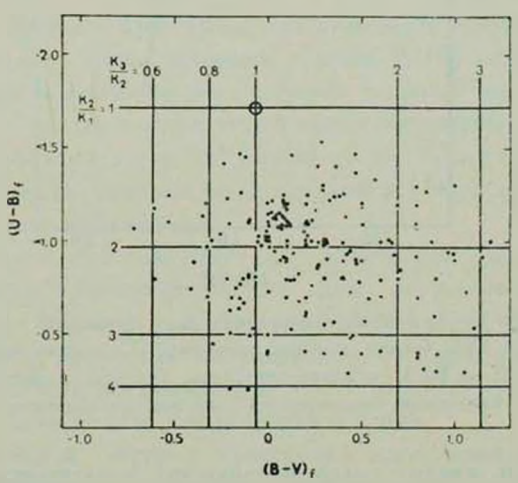

Рис. 2. Цветовая диаграмма $(U-B)_f \sim (B-V)_f$ для «чистой» вспышки. Точки — наблюдения для 10 вспыхивающих звезд типа UV Cet. Нанесена также серия теоретических зависимостей $(U-B)_f \sim (B-V)_f$ (горизонтальные и вертикальные параллельные линии) для ряда значений параметров k_3/k_2 и k_2/k_1, характеризующих степень относительных отклонений излучения звезды в далекой инфракрасной области (3—6 мкм) от закона Планка. Кружок с крестиком соответствует планковскому распределению излучения ($k_1 = k_2 = k_3 = 1$).

Попытка построения зависимости (U—B) ~ (B—V) для системы «звезда + вспышка», но с учетом отклонения реального излучения невоз-

мущенной звезды от планковского, была сделана также П. Ф. Чугайновым [9] (рис. 3).

Так обстоит дело с цветовыми характеристиками *слабых* вспышек, индуцированных обратным комптон-эффектом. В случае же *сильных* вспышек, индуцируемых тормозным излучением быстрых электронов, показатели цвета соответствуют тому, что дают наблюдения, и здесь нет каких-либо противоречий.

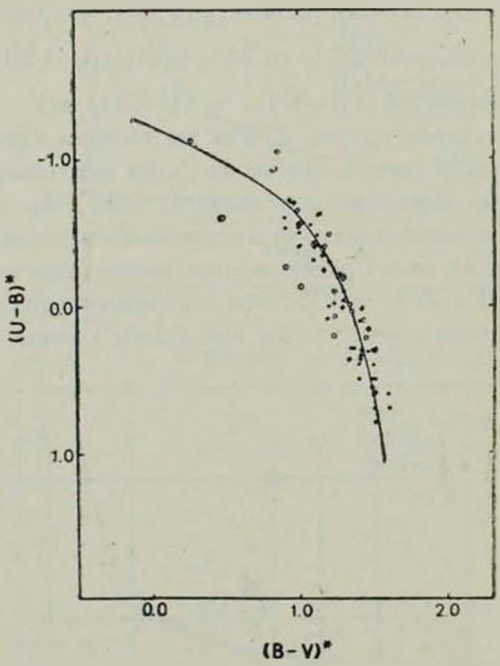

Рис. 3. Результаты U—B и B—V измерения для суммарной энергии вспышек EV Lac, AD Leo и YZ CMi (точки, кружки, крестики). Сплошная линия — теоретическая зависимость U—B ~ B—V в случае гипотезы быстрых электронов и с учетом отклонения реального излучения невозмущенной звезды от планковского [9].

Таким образом, анализ колориметрических характеристик вспышек в любой форме дает «веский аргумент» как раз в пользу гипотезы быстрых электронов, а не против нее, как это считает Гершберг.

Кстати, никаких двух версий гипотезы быстрых электронов, как это пишется в [5], не было и нет. Просто одни и те же быстрые электроны генерируют оптические вспышки разными механизмами, в зависимости от полного количества самих электронов. Если их количество невелико (слабые вспышки), срабатывает обратный комптон-эффект, когда же оно велико (сильные вспышки), преобладает тормозное излучение. Кроме то-

го, в первом случае должно наблюдаться новое явление — «отрицательная» вспышка в инфракрасных лучах (1—2 мкм), а во втором случае вспышка в инфракрасных лучах должна быть вполне «положительной». И вот здесь Гершберг почему-то подает результаты инфракрасных наблюдений двух вспышек EV Lac [10] в явно искаженной и неверной интерпретации. Обе эти вспышки очень мощные — одна из них даже с амплитудой, превышающей 5^m. Для таких случаев гипотеза быстрых электронов предсказывает вполне «положительную» вспышку в инфракрасной области, а зарегистрированные амплитуды этих «положительных» вспышек оказались в полном соответствии с тем, что следует из этой гипотезы [11]. Гипотеза быстрых электронов предсказывает отрицательную инфракрасную вспышку только в области, длиннее 10 000 А. Между тем наблюдения [10] и [12] относятся к области с максимумом пропускания на 8050 А, то есть существенно короче 1 мкм. Эти наблюдения просто не имеют никакого отношения к предсказуемой инфракрасной вспышке.

Что касается предвспышечного спада блеска звезды, то как раз недавно появились новые наблюдательные данные, которые, по мнению самих наблюдателей [13], находятся в соответствии с гипотезой быстрых электронов.

Гипотеза быстрых электронов предсказывает возможность рентгеновского излучения во время вспышки звезды. В [5] отмечается, что зарегистрированные в немногих пока случаях вспышек рентгеновские потоки оказались на порядок меньше теоретически ожидаемых по этой гипотезе величин. Но при этом автор [5] почему-то умалчивает о тех важных оговорках и замечаниях, которые были сделаны в [14] и где был дан развернутый анализ этих наблюдений.

Прежде всего, гипотеза быстрых электронов предсказывает существенно меньшую продолжительность для рентгеновских вспышек; она должна быть *на порядок* меньше продолжительности оптических вспышек. Наблюдения полностью подтверждают это предсказание: продолжительность рентгеновской вспышки UV Cet (8.I.1975) оказалась 48 с при продолжительности оптической вспышки в 8 мин.

Далее, гипотеза быстрых электронов предсказывает очень высокие *мгновенные* интенсивности рентгеновской вспышки в момент ее максимума, причем сама продолжительность максимума — это важно отметить — должна быть крайне мала, порядка 0.1—0.01 с. Совершенно ясно, что такие, хотя и очень интенсивные, но и очень острые максимумы не могут быть зафиксированы при постоянной времени регистрирующей аппаратуры, равной 15 с (время накопления) [15—17]. Возможно по той же причине и не были зафиксированы с помощью OSO-3 непродолжительные рентгеновские вспышки (всплески) в области более жестких волн.

По поводу же спектра рентгеновских вспышек в [14] вполне четко было сказано, что, во-первых, качественно наблюдаемый спектр ничуть не противоречит гипотезе быстрых электронов, во-вторых, в принципе рентгеновскую вспышку YZ CMi можно интерпретировать и в рамках теплового тормозного излучения высокоэнергетических электронов при условии, однако, что эффективная температура электронного газа будет в 5—10 раз выше эффективной температуры при самых мощных рентгеновских вспышках Солнца, и что, в-третьих, окончательный выбор между этими альтернативами можно будет сделать после появления данных о рентгеновских вспышках звезд в области 1—2 А и короче.

Таково фактическое положение дел с рентгеновскими вспышками. Делать из всего этого поспешный вывод о несостоятельности гипотезы быстрых электронов, как видим, нет никаких оснований.

Что касается «частных ошибок» по выражению Гершберга, к тому же многочисленных, якобы допущенных автором гипотезы быстрых электронов, то в этом вопросе также трудно считать нашего критика беспристрастным. Расчет излучения, например, в бальмеровских линиях действительно проводится в [4] в приближении оптически тонкого слоя, но делается это с определенной целью — для нахождения *порядка* величины электронной концентрации в хромосфере, для установления *нижней* границы продолжительности свечения хромосферы и пр.,— но разве следует из этого, что автор придерживается точки зрения о полной прозрачности хромосферы в линиях? Как раз наоборот, в разделах 12 и 13, например, приводятся веские аргументы, подкрепленные схемой на рис. 7, в пользу полной непрозрачности хромосферы вспыхивающих звезд в линиях. А приведенный в разделе 22 профиль L_α-линии относится как раз к случаю оптической толщи хромосферы порядка 10^4 в этой линии. Далее, пятнистая структура хромосферы отнюдь не мешает тому, чтобы можно было говорить о средних значениях основных параметров хромосферы. Зарождение вспышки, да, имеет локальный характер, но после появления быстрых электронов вспышка охватывает практически всю звезду. Это верно, что нами использованы эквивалентные ширины эмиссионных линий, измеренных во время сильных вспышек, но это сделано с целью нахождения электронной концентрации хромосферы как раз во время вспышек. К тому же знание точного значения эквивалентной ширины не так важно, поскольку она входит под квадратный корень. Так же можно показать несостоятельность и просто спекулятивность остальных «критических» замечаний, приведенных в [5].

По поводу развитой нами теории хромосфер вспыхивающих звезд не будет излишним привести здесь одну выдержку из недавней статьи Мочнаки и Шоммера [18], посвященной результатам и анализу прецизионных спектрофотометрических наблюдений вспышек: «Гурзадян [4] рас-

сматривает модель хромосферы, облучаемой от источника, расположенного выше хромосферы... Его модель объясняет медленное затухание эмиссионных линий металлов, возбуждаемых электронными соударениями, в отличие от водородных линий, возникших путем рекомбинаций. Наши наблюдения подтверждают состоятельность этой модели, предусматривающей затухание в течение продолжительного времени, отсутствие больших смещений в скоростях между линиями поглощения и эмиссионными линиями, и отсутствие сильных магнитных полей».

В заключение нам хочется отметить следующее. Гипотеза быстрых электронов рассматривает наблюдаемое фотонное излучение вспышек как результат вторичный; первичным является само появление быстрых электронов. Болометрическая светимость вспышки, в виде кинетической энергии быстрых электронов, превышает энергию оптической вспышки на много порядков. Гершбергу это не нравится. Но кем, когда и как было показано, что наблюдаемая, скажем, в оптических лучах картина вспышки является именно первичной? И почему при поисках источников энергии вспышки мы должны исходить из требования соблюдать баланс только с лучистой энергией? Почему, на основании каких фактов или соображений мы должны допускать, что наши наблюдательные средства делают непосредственно доступными *все* формы проявления вспышки?

Было бы более логичным и последовательным, как нам кажется, допустить возможность вспышки в иной, в энергетическом отношении более высокой форме, вытекающей к тому же из более общих и всеобъемлющих соображений, связанных с формированием и эволюцией звезд и источников их энерговыделения. Гипотеза быстрых электронов подходит к проблеме как раз с этой позиции.

Явлению звездных вспышек присущ ряд редких, но наиболее экстремальных форм и свойств: факты более чем 2500-кратного увеличения блеска звезды во время вспышки; случаи более чем десятикратного (!) повышения блеска звезды за 1 с во время иных вспышек; необычайно большие для тел размерами со звезду потоки радиоизлучения и пр. И если для ординарных вспышек еще можно «подобрать» нужные параметры в рамках, скажем, гипотезы «горячего газа» или «магнитной аннигиляции», то такой «подбор» становится просто невозможным для провоцирования вспышек с перечисленными выше экстраординарными свойствами. Между тем, гипотеза быстрых электронов оказалась в состоянии охватить без всякой «натяжки» как обычные, так и эти редкие, но крайне характерные формы и свойства этого феномена.

Что касается утверждения о том [5], что концепция быстрых электронов требует коренного пересмотра современных представлений о внутреннем строении звезд, то можно спросить: действительно ли наши представления о внутреннем строении звезд являются полными, а тем более

окончательными в пределах известных нам законов физики? А вообще-то слово «коренное», к тому же с неким оттенком сверхъестественности, в данном случае является произвольным и ничем не обоснованным: не надо забывать, что вспышечная активность, охватывающая небольшой период жизни звезды, не была предсказана ни одной из существующих ныне теорий внутреннего строения звезд.

Гершберга волнуют также вопросы приоритетного характера: идея, мол, использования ультрарелятивистских электронов для объяснения звездных вспышек не нова и была высказана 25 лет тому назад Гордоном [19]. Однако достаточно сказать, что теория звездной вспышки, базированная на ультрарелятивистских электронах энергии $\sim 10^{6}$ эВ и на испускаемом ими синхротронном излучении не существует и поныне. Далее, гипотеза быстрых электронов вовлекает в теорию — и вообще впервые в астрофизику — только низкоэнергетические электроны с $\sim 10^{6}$ эВ (отсюда и их название «быстрые электроны», четко оговоренное в [1], стр. 48). Это по крайней мере на три порядка меньше энергии указанных ультрарелятивистских электронов. Эта колоссальная разница важна не только с энергетической точки зрения, она означает прежде всего существенно разные механизмы генерации самих электронов, а именно, β-распад в случае $\sim 10^{6}$ эВ и ускорение в магнитных полях в случае $\sim 10^{8}$ эВ, то есть разница, которая уже затрагивает саму космогонию обсуждаемого явления.

Как мы видим, гипотеза быстрых электронов не имеет решительно ничего общего с тем, что приведено в [19,] всего-навсего на одной трети страницы умозрительного текста.

Конечно, не все в концепции быстрых электронов представляется ясным и понятным до конца, она нуждается в дальнейшей разработке. При этом любая критика, объективная и здоровая, свободная от предвзятой тенденциозности, может оказаться полезной и стимулирующей. Что касается «критических замечаний» Гершберга, то они, как мы видели, далеки от того, чтобы претендовать на такую цель.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

REPLY TO GERSHBERG'S "CRITICAL COMMENTS"

G. A. GURZADYAN

The preconception and failure of the objections advanced by Gershberg against the fast electron hypothesis are shown.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Г. А. Гурзадян*, Вспыхивающие звезды, Наука, М., 1973.
2. *T. J. Moffett*, Ap. J. Suppl. ser., 29, 1, 1974.
3. *S. Cristaldi, M. Rodono*, Частное сообщение, 1975.
4. *Г. А. Гурзадян*, Astrophys. Space Sci., 52, 51, 1977.
5. *Р. Е. Гершберг*, Астрофизика, 16, 375, 1980.
6. *Г. А. Гурзадян*, Ap. J., 1980 (в печати).
7. *S. Cristaldi, M. Redono*, Proc. IAU Symp. No. 67, 1975. Moscow, 1974.
8. *T. J. Moffett*, M. N., 164, 11, 1973.
9. *П. Ф. Чугайнов*, (частное сообщение), 1979.
10. *Н. Н. Килячков, В. С. Шевченко*, Письма АЖ, 4, 224, 1978.
11. *Г. А. Гурзадян*, Astrophys. Space Sci., 62, 35, 53, 1979.
12. *В. В. Брусевич, В. И. Бурнашев, В. П. Гринин, Н. Н. Килячков, В. П. Котышев, Н. И. Шаховская, В. С. Шевченко*, Изв. Крымской обс., 61, 1979.
13. *M. Rodono, M. Pucillo, G. Sedmak, G. A. de Blase*, Astron. Astrophys. 76, 242, 1979.
14. *Г. А. Гурзадян*, Astrophys. Space Sci., 48, 313, 1977.
15. *J. Heise, A. C. Brinkman, J. Schrijver, R. Mewe, E. Cronenschild, A. den Boggende, J. Grindlay*, Ap. J. Lett., 202, L73, 1975.
16. *V. Tsikoudi, H. Hudson*, Astron. Astrophys., 44, 273, 1975.
17. *J. T. Karpen, C. J. Crannell, R. W. Hobbs et al.*, Ap. J., 216, 479, 1977.
18. *S. W. Mochnaki, R. A. Schommer*, Ap. J., Lett., 231, L77, 1979.
19. *И. М. Гордон*, ДАН СССР, 97, 621, 1954.

От редакции. Помещая критическую статью Р. Е. Гершберга и ответ Г. А. Гурзадяна, редакция считает дальнейшую дискуссию по этому вопросу на страницах журнала «Астрофизика» нецелесообразной. Редакция будет охотно печатать статьи, содержащие новые наблюдения, их анализ, а также достаточно обоснованные теоретические расчеты, относящиеся к природе звездных вспышек.