

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

МАЙ, 1980

ВЫПУСК 2

УДК 523.035

КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТАМ Г. А. ГУРЗАДЯНА ПО ВСПЫХИВАЮЩИМ ЗВЕЗДАМ

Р. Е. ГЕРШБЕРГ

Поступила 6 августа 1979

Сопоставление предложенной Г. А. Гурзядяном «гипотезы быстрых электронов» с наблюдениями вспыхивающих звезд обнаруживает несостоятельность этой гипотезы.

В монографии «Вспыхивающие звезды» и в двух обширных статьях, опубликованных недавно в журнале *Astrophysics and Space Science*, Гурзядян [1, 2] изложил «гипотезу быстрых электронов», развитую им для интерпретации явлений, наблюдаемых на вспыхивающих звездах типа UV Кита. В основе концепции Гурзядяна лежит предположение, что распад гипотетического дозвездного вещества, выносимого из звездных недр, приводит к появлению потоков электронов высоких энергий, причем полная энергия этих частиц столь велика, что только их комптоновское и нетепловое тормозное излучения достаточны для объяснения всех наблюдаемых проявлений звездных вспышек. Поскольку известно, что усредненная по времени оптическая светимость вспышек типичной звезды типа UV Кита составляет около 10^{-4} болометрической светимости самой звезды, а в модели Гурзядяна при комптоновском и нетепловом тормозном излучениях лишь ничтожная доля — 10^{-6} и менее — энергии быстрых электронов переходит в оптическое излучение, то в такой модели источник быстрых электронов должен обладать усредненной по времени мощностью, по крайней мере в сто раз превышающей болометрическую светимость вспыхивающей звезды. Таким образом, концепция Гурзядяна требует коренного пересмотра современных представлений о внутреннем строении и источниках энергии звезд. Однако внимательное сопоставление этой гипотезы с наблюдениями обнаруживает ее несостоятельность.

1. Прежде чем рассматривать вопрос по существу, необходимо внести терминологическую ясность: концепция Гурзадяна не соответствует названию «гипотеза быстрых электронов».

Действительно, во-первых, нет оснований приписывать Гурзадяну введение в физику вспыхающих звезд представлений о важной роли быстрых частиц. Еще 25 лет назад Гордон [3] обсуждал возможную роль релятивистских электронов в звездных вспышках. Открытие Ловеллом нетеплового радиоизлучения этих вспышек, которое также было сделано задолго до появления концепции Гурзадяна, явилось прямым доказательством существования быстрых частиц во вспышках звезд типа UV Кита, поскольку яркостные температуры порядка 10^{15} К, регистрируемые в этих вспышках, могут быть обусловлены либо непосредственным излучением релятивистских частиц, либо коллективными процессами, тесно связанными с такими частицами.

Во-вторых, расчеты Гурзадяна нельзя рассматривать и как теорию быстрых электронов в эруптивных процессах звездной природы. Дело в том, что в условиях звездных атмосфер и околозвездного пространства имеет место значительное разнообразие физических процессов, связанных с быстрыми частицами (см., например, обзор Сомова и Сыровагского [4] и монографию Каплана и др. [5]). Но Гурзадян полагает, что из рассматриваемых звездных вспышек из всего этого разнообразия реализуются лишь два процесса — комптоновское взаимодействие быстрых частиц с тепловым излучением звезды и нетепловое тормозное излучение, процессы, которые обладают весьма малыми коэффициентами конверсии энергии быстрых частиц в оптическое излучение. Пренебрегая другими, гораздо более эффективными процессами энергетических потерь быстрых частиц, Гурзадян строит весьма искусственную схему, и неоправдано общее название этой схемы «гипотеза быстрых электронов» дает повод к путанице и недоразумениям.

2. Согласно первоначальной версии концепции Гурзадяна, наблюдаемые оптические вспышки являются результатом комптоновского рассеяния фотосферного излучения звезды на быстрых электронах. Гурзадян утверждает, что в рамках этих представлений он интерпретирует характерную кривую блеска вспышки и смещение вспыхающей звезды по двухцветной диаграмме $U—B$, $B—V$ во время вспышки; кроме того, Гурзадян предсказывает понижение инфракрасного блеска звезды и мощное жесткое излучение во время оптических вспышек. Рассмотрим каждый из этих моментов.

Согласно расчетам Гурзадяна [1], время жизни быстрых электронов в звездной атмосфере из-за ионизационных потерь существенно меньше длительности вспышек, так что учет этих потерь делает совершенно невоз-

возможным представлением наблюдаемых кривых блеска вспышек в рамках «гипотезы быстрых электронов». Чтобы обойти эту трудность, Гурзадян просто постулирует отсутствие ионизационных потерь у быстрых частиц, «порождая» их высоко над поверхностью звезды. После этого приводится расчет теоретической кривой блеска вспышки в предположении, что вспышка затухает только из-за расширения облака быстрых электронов. Подбором характерного времени и геометрии расширения такого облака Гурзадян достигает определенного сходства теоретических кривых с несколькими наблюдаемыми кривыми блеска вспышек. Но используемый при этом «простой» постулат об отсутствии ионизационных потерь лишает это сходство какой-либо физической значимости. Действительно, известно, что плотность вещества в хромосферах и коронах вспыхивающих звезд на один-два порядка величины выше, чем в соответствующих областях на Солнце [6—8]. В этих условиях неизбежны значительные энергетические потери быстрых частиц — ионизационные потери, потери на возбуждение плазменной турбулентности. Если же быстрые частицы появляются так далеко за пределами корональных областей, где плотность вещества и, следовательно, ионизационные потери уже пренебрежимо малы, то там не может возникнуть и нетепловое тормозное излучение, которое, по Гурзадян, является определяющим в наблюдаемых эффектах сильных вспышек. Наконец, следует заметить, что представление кривых блеска — вообще очень слабый аргумент в пользу той или иной теоретической модели: нисходящие ветви тех нескольких кривых блеска, которые Гурзадян представляет своими теоретическими формулами, имеют вид простейших монотонных кривых, и такого рода кривые столь же успешно представляются в рамках рекомбинационной модели с импульсным возбуждением [6] и в рамках ударно-волновой модели [9]; обе эти модели, кстати сказать, оказались несостоятельны [10].

Таким образом, рассмотрение кривых блеска вспышек звезд типа UV Кита не дает сколько-нибудь серьезных доводов в пользу концепции Гурзадяна.

Обсуждая цветовые характеристики вспыхивающих звезд, Гурзадян рассматривает положения этих звезд на диаграмме $U—B$, $B—V$ в спокойном состоянии и в моменты максимумов вспышек. Но вспыхивающие звезды — это весьма красные объекты, в минимуме блеска они находясь в правом нижнем углу этой диаграммы, тогда как целый ряд излучений различной природы (см. рис. 1) имеет весьма синие цвета и локализуется в левом верхнем углу такой диаграммы. Поэтому смещение звезды во время вспышки влево вверх по двуцветной диаграмме практически не зависит от того, какое именно из этих синих излучений реализуется во вспышке.

Столь же неоднозначна и интерпретация отношений амплитуд вспышек $\Delta U/\Delta B$ и $\Delta V/\Delta B$, используемых Гурзядяном для подтверждения своей гипотезы.

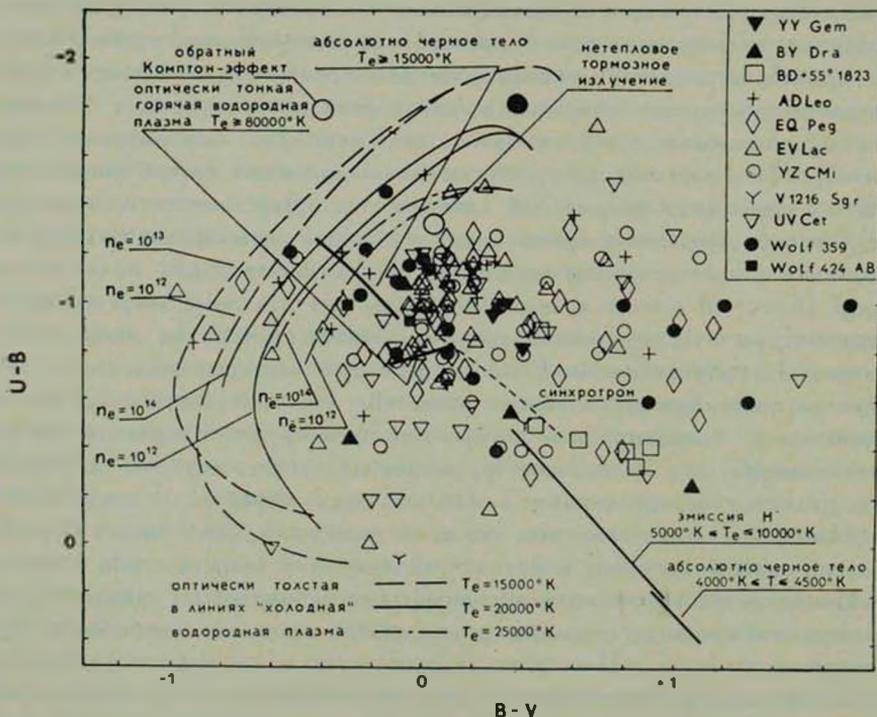


Рис. 1. Положения на двухцветной диаграмме $U-B$, $B-V$ собственного излучения вспышек звезд типа UV Кита в моменты максимального блеска и излучений различной физической природы.

На рис. 1 приведены цвета собственного излучения вспышек ряда вспыхивающих звезд в моменты максимума блеска согласно наблюдениям Кункеля [11], Моффетта [12] и Кристалди и Родано [13]. Здесь же даны цвета излучений различной физической природы: абсолютно черного тела, оптически плотной в линиях водородной плазмы, оптически тонкой очень горячей плазмы, синхротронной эмиссии и др. Рисунок показывает, что цвета собственного излучения вспышек попадают в густо заселенную различными излучениями область двухцветной диаграммы. Но комptonовская эмиссия, цвета которой были рассчитаны Гурзядяном [1] и также приведены на рис. 1, локализуется за пределами области, занимаемой звездными вспышками. Следовательно, если грубый колориметрический анализ — рассмотрение дрейфа вспыхивающих звезд во время вспышек по

двухцветной диаграмме — не дает серьезных доводов в пользу комптоновской природы оптического излучения вспышек, то более рафинированный анализ — рассмотрение положения излучения самих вспышек на такой диаграмме — дает веский аргумент против этой гипотезы.

Рассеяние инфракрасных фотонов фотосферного излучения на быстрых электронах должно, согласно концепции Гурзадяна, давать вспышку в оптическом диапазоне и одновременно приводить к ослаблению блеска звезды в инфракрасной области. Однако вместо предсказанных инфракрасных «отрицательных» вспышек наблюдения Килячкова и Шевченко [14] и Бруевича и др. [15] обнаружили лишь инфракрасные положительные вспышки. Далее, для сильных вспышек Гурзадян предсказывает неселективное ослабление блеска звезды непосредственно перед резким подъемом к максимуму — эффект экранирования облаком быстрых частиц фотосферного излучения звезды. Но наблюдения показывают, что амплитуда предвспышечного ослабления блеска в полосе U существенно превышает соответствующую амплитуду в полосе V [16]. Таким образом, и эти наблюдательные факты противоречат модели комптоновского рассеяния быстрых электронов на фотосферном излучении звезды во время вспышек.

3. Во второй версии «гипотезы быстрых электронов» в дополнение к комптоновскому излучению Гурзадян рассмотрел нетепловое излучение этих частиц. Цвета такого излучения, действительно, попадают на двухцветной диаграмме в область, где находятся цвета звездных вспышек (см. рис. 1). Далее, при тормозной эмиссии нет оснований ожидать отрицательные инфракрасные вспышки. Однако наблюдения рентгеновского излучения звездных вспышек противоречат и этой версии.

Действительно, во время вспышки UV Cet 8.1.1975 г. отношение потока мягкого рентгеновского излучения к оптической эмиссии оказалось более чем на порядок величины меньше, чем это требует «гипотеза быстрых электронов» [17]. Не касаясь этого противоречия, Гурзадян сопоставляет лишь относительные потоки излучения в областях мягкого, среднего и жесткого рентгена и теоретический спектр нетеплового тормозного излучения. Излучение от звездных вспышек в области жесткого рентгена до сих пор не зарегистрировано, и здесь приходится использовать верхние пределы соответствующих потоков. Однако при оценке отношения $F_{\text{жест.}}/F_{\text{мяг.}}$ Гурзадян использует измеренную на спутнике ANS во время упомянутой вспышки UV Cet величину $F_{\text{мяг.}}$ [18], но верхний предел $F_{\text{жест.}}$ берет почему-то не из приведенных в этой же статье прямых наблюдений той же вспышки, а по данным OSO-3 [19], которые были получены на несколько лет раньше с менее чувствительной аппаратурой в режиме сканирования небесной сферы. Прямые наблюдения вспышки UV Cet на спутнике ANS дают отношение $F_{\text{жест.}}/F_{\text{мяг.}}$ на два-три порядка величины

меньше, чем обсуждаемое Гурздяном отношение, и этот результат, как и упомянутое выше отношение рентгеновской и оптической эмиссий, решительно противоречат гипотезе о нетепловой тормозной эмиссии звездных вспышек, простирающейся от рентгена до оптического диапазона частот.

4. В ситуации, когда имеющиеся наблюдения обнаруживают несостоятельность исходного положения «гипотезы быстрых электронов» о решающей роли комптоновского и нетеплового тормозного излучений этих частиц в наблюдаемой активности вспыхивающих звезд, нет смысла рассматривать в деталях частные ошибки, содержащиеся в указанных работах Гурздяна. Но многочисленность и характер этих ошибок не могут не удивлять.

Так, расчет излучения в бальмеровских линиях проводится в приближении оптически тонкого слоя, хотя и наблюдаемый бальмеровский декремент вспышек [11], и анализ эмиссионного спектра спокойных хромосфер этих звезд [8] свидетельствуют об оптических толщинах в наблюдаемых линиях порядка многих десятков или сотен. При рассмотрении эквивалентных ширин эмиссионных линий в спектрах вспышек в [1, 2] предполагается, что вспышка охватывает всю звезду, хотя вся совокупность наблюдений свидетельствует о локальности вспышек [20, 21]. При оценке электронной плотности спокойных хромосфер используются не относящиеся к делу эквивалентные ширины линий, измеренные во время сильных вспышек, хотя известны эквивалентные ширины линий, измеренные в спокойном состоянии звезды. Уширение спектральных линий во вспышках интерпретируется как чисто температурный эффект, хотя обнаруженные наблюдениями [22] различия в отношениях $\Delta\lambda/\lambda$ для ряда бальмеровских линий исключают такую интерпретацию.

Выводы. Наблюдения вспышек звезд типа UV Кита дают прямые свидетельства существования в этих эруптивных процессах быстрых электронов.

Фотометрические, колориметрические и рентгеновские характеристики вспышек красных карликовых звезд, рассматриваемые Гурздяном как наблюдательные подтверждения «гипотезы быстрых электронов», таковыми подтверждениями, в действительности, не являются.

Ряд независимых данных — колориметрические, инфракрасные, рентгеновские свойства вспышек звезд типа UV Кита — обнаруживают ошибочность концепции Гурздяна, согласно которой все проявления активности вспыхивающих звезд обусловлены в конечном счете только комптоновским и нетепловым тормозным излучениями быстрых электронов.

CRITICAL COMMENTS ON G. A. GURZADYAN'S
PAPERS ON FLARE STARS

R. E. GERSHBERG

Comparison of "the fast electron hypothesis" proposed by G. A. Gurzadyan with observations of flare stars reveals the failure of this hypothesis.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Гурзядян, *Вспыхивающие звезды*, Наука, М., 1973.
2. Г. А. Гурзядян, *Astrophys. Space Sci.*, 48, 313; 52, 51, 1977.
3. И. М. Гордон, *ДАН СССР*, 97, 621, 1954.
4. Б. В. Сомов, С. И. Сыроватский, *УФН*, 120, 217, 1976.
5. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, В. Н. Цытович, *Физика плазмы солнечной атмосферы*, Наука, М., 1977.
6. Р. Е. Гершберг, *Вспышки красных карликовых звезд*, Наука, М., 1970.
7. F. D. Kahn, *Nature*, 250, 125, 1974.
8. В. П. Гринин, *Изв. Крымской обс.*, 59, 154, 1979.
9. А. А. Коровянкoвская, *Астрофизика*, 8, 247, 1972.
10. Р. Е. Гершберг, *Вспыхивающие звезды малых масс*, Наука, М., 1978.
11. W. E. Kunkel, *Ap. J.*, 161, 503, 1970.
12. T. J. Moffett, *Ap. J., Suppl. Ser.*, 29, No. 273, 1974.
13. S. Cristaldi, M. Rodono, in "Variable stars and stellar evolution" in V. Sherwood and L. Plaut eds., Reidel, Dordrecht, 1975, p. 75.
14. Н. Н. Килячков, В. С. Шевченко, *Письма АЖ*, 4, 224, 1978.
15. В. В. Бруевич, В. И. Бурнашев, В. П. Гринин, Н. Н. Килячков, В. В. Когышев, Н. И. Шаховская, В. С. Шевченко, *Изв. Крымской обс.*, 61, 90, 1980.
16. S. Cristaldi, R. Gershberg, M. Rodono, *Astron. Astrophys.*, 1980 (in press).
17. J. T. Karpen et al., *Ap. J.*, 216, 479, 1977.
18. J. Heise, A. C. Brinkman, J. Schrijver, R. Mewe, E. Gronenschild, A. den Boggende, J. Grindlay, *Ap. J.*, 202, L73, 1975.
19. V. Tsikoudi, H. Hudson, *Astron. Astrophys.*, 44, 273, 1975.
20. D. J. Mullan, *Solar Phys.*, 54, 183, 1977.
21. В. С. Осканян, в сб. «Вспыхивающие звезды», под ред. Л. В. Мирзояна, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, стр. 11, 1977.
22. Р. Е. Гершберг, Н. И. Шаховская, *Астрон. ж.*, 48, 934, 1971.