АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 9

МАЙ, 1973

ВЫПУСК 2

ЧЕРНАЯ ДЫРА—КОМПОНЕНТА МАССИВНОЙ ЭМИССИОННОЙ ЗВЕЗДЫ

О. Х. ГУСЕЙНОВ

Поступила 26 марта 1973

Пересмотрена 16 мая 1973

С целью поиска черных дыр рассматриваются четыре звезды, в спектрах которых наблюдается эмиссия. Во всех системах невидимая компонента массивнее видимой. Анализ проведен на основании литературных данных и данных наблюдений, проведенных в Шемахинской астрофизической обсерватории. Никаких особых, присущих релятивистским звездам признаков у рассмотренных систем не найдено. Показано, что наиболее перспективно искать черные дыры среди рентгеновских источников, находящихся в рукавах Галактики и отождествляемых с массивными эмиссионными звездами ранее А3, гигантами спектрального класса М и красными сверхгигантами. Указаны пути их поиска. Показано, что при коллапсе одной из компонент двойной системы, вероятно, остаются в паре менее 0.1 части двойных звезд.

В работе [1] приводится список 13 звезд, среди которых могут быть системы, содержащие релятивистские компоненты (см. также [2]). Среди этих систем имеются 5 звезд, в спектрах которых наблюдается эмиссия: HD 30353 (KS Per), HD 33232, HD 64511 (U Gem), HD 187399 и HD 193928. Сразу следует отметить, что U Gem в этот список попала по ошибке. Остановимся вкратце на каждой звезде в отдельности.

Звезда KS Per имеет хорошо изученную кривую лучевой скорости с полуамплитудой $k_1 \sim 50$ км/сек. Она тщательно изучена рядом авторов [3—6]. Период системы равен 360 дням. Видимая компонента *Ape* сверхгигант. Спектр, полученный нами в 1971 году на пленке А-500 с дисперсией 75 А/мм, подтверждает известные спектроскопические характеристики звезды. Никакой новой информации не получено и из многоцветной фотометрии этой звезды, по наблю-

дениям Эданавичуса, выполненным по нашей просьбе. Однако интересно, что эти фотометрические наблюдения подтвердили существование большого избытка излучения в инфракрасной области. Следует теперь спектроскопически подтвердить связь избытка инфракрасного излучения с наличием обычного красного гиганта (K5III—M2III) в этой системе. Для этого нужно получить спектр системы в области 10000 Å, хотя бы с дисперсией 75 Å/мм и измерить лучевые скорости. В фазах, соответствующих максимуму и минимуму лучевой скорости, скорости компонентов должны отличаться на ~ 80 км/сек. Лучше всего измерения лучевых скоростей провести по пластинкам, полученным в январе 1973 г. или 1974 г. Черной дыры в этой системе нет.

HD 33323 — кривая лучевой скорости очень ненадежна [7—10]. Возможно, как отмечает Меррилл [9], изменения лучевой скорости связаны с медленными атмосферными колебаниями. Циклы длятся от 3700 до более чем 4000 дней. Именно с этим может быть связано то, что по разным элементам получаются разные скорости. Из наблюдений Эданавичуса, хотя и не совсем уверенно, следует возможность наличия красной компоненты. В этом случае возможность наличия черной дыры отпадает.

У обеих звезд HD 30353 и HD 33232 наблюдается поляризация, которая для каждой звезды в звездных величинах равна соответственно 0.047 и 0.025 [11]. Позиционные углы плоскости колебаний волны у обеих звезд почти одинаковы и соответственно равны 149° и 140° . Эти звезды находятся почти на одинаковом расстоянии от нас и на одном участке неба, поэтому, вероятнее всего, наблюдаемая поляризация является межзвездной.

HD 187399 — имеет достаточно хорошо изученную кривую лучевой скорости [12]. По данным Меррилла [12], который изучал эту звезду по спектрограммам с дисперсиями 10 и 20 Å/мм, она напоминает систему β Луг. Нами на 2-х метровом телескопе в 1971 году были получены 3 спектра этой звезды с дисперсией 8 Å/мм, рассмотрение которых полностью подтвердило данные [12, 13], поэтому исследование этого спектра мы прекратили.

Недавно HD 187399 подробно изучали Хатчинг и Ласкаридес [14] по 5 спектрограммам с дисперсией 6.5 Å/мм, полученным 12 июня, 3, 12 и 14 июля, 1 октября — все в 1970 году. Профили типа Р Лебеда наблюдаются у H_β и H_γ . Большие скорости наблюдались у металлов, до 150 км/сек. Это много, если учесть, что скорость центра масс $\gamma = -19$ км/сек, а полуамплитуда лучевой скорости $k_1 = 104$ км/сек. С учетом водородных линий, которые имеют меньшую скорость, так как имеется большой вклад оболочки, лучевая скорость имела зна-

чение — 130 км/сек. Оболочка, как и у β Лиры, имеет линии с постоянной скоростью расширения. Это говорит о потере вещества из системы. Авторы предполагают, что 3 июля 1970 г. и 8 июня 1971 г. наблюдался взрыв, а может быть вообще нестационарный поток вещества. Предположение о нестационарном потоке нам кажется более правильным. Потеря вещества из системы $10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$. Спектр В9III—В6III, $M_v = -1^m4$ при расстоянии до звезды $R = 450$ пс, без учета поглощения в среде. По мнению авторов, угол наклона орбиты $i = 80^\circ \pm 10^\circ$, поэтому масса невидимой компоненты будет меньше оценки, данной в [1].

HD 193928 — имеет хорошо изученную кривую лучевой скорости, поэтому основную ошибку при определении массы невидимой компоненты вносит неопределенность массы самой WN-звезды. Верхний предел ее массы оценивал Рублев [15] из условия удержания атмосферы в равновесии против сил лучевого давления и получил значение $\sim 8.6 M_{\odot}$. В своей неопубликованной работе он еще раз оценил тот же верхний предел массы $\sim 6.6 M_{\odot}$. Реальная масса звезды должна быть ниже этого значения (как и у других звезд WR, массы которых могут быть определены непосредственно). Если ориентироваться на грубую зависимость „масса—болометрическая абсолютная величина“, построенную по WR-компонентам двойных с определенными массами, то можно получить по $M_b = -9^m2$, $\lg M = 0.6-0.7$, т. е. масса HD 193928 порядка 4—5 $M_{\odot}$. Кстати, у HD 193928, оказывается, самая низкая болометрическая светимость, по сравнению с детально изученными звездами WR. Поэтому ее масса должна быть наименьшей из полученных таким способом значений масс. Если принять массу WN компоненты равной 5 $M_{\odot}$, то вероятная масса второй компоненты будет 14 $M_{\odot}$, а минимальная 11 $M_{\odot}$. Невидимая компонента, будучи звездой главной последовательности, имела бы абсолютную звездную величину в пределах $-3+ -5$ и вполне оставалась невидимой.

В настоящее время поиски черных дыр (ЧД) ведутся только среди кратных систем [1, 2]. Очевидно, их надо искать среди таких двойных, в которых хотя бы одна из компонент имела ранее массу $> 2.0 M_{\odot}$. Для того, чтобы отвлекаться от нейтронных звезд, будем рассматривать двойные системы с массами $> 6 M_{\odot}$. Согласно звездной эволюции, двойные системы с такими массами живут менее 10^8 лет и поэтому их в Галактике должно быть не более $\sim 10^6$ звезд (Здесь за время жизни системы принимаем время жизни прэволюционировавшей компоненты). Это следует из того, что число звезд с массами более 3 $M_{\odot}$ в Галактике не превосходит $\sim 10^7$, а число звезд с

такими массами, входящих в пары, раз в 10 меньше их общего числа.

Если такая система настолько широка, что каждая звезда эволюционирует самостоятельно, то видимая несконлапсировавшая компонента должна быть звездой ранее чем АЗ, гигантом спектрального класса М или же красным сверхгигантом. В тесных же парах, по-видимому, протяженная оболочка красного гиганта и сверхгиганта будет „съедаться“ релятивистской компонентой, и поэтому должна наблюдаться эмиссионная В или О звезда (звезды типа Вольф—Райе, Р Лебеда и Of). В первом случае мы должны искать ЧД среди двойных с невидимыми компонентами. При этом масса невидимой компоненты может оказаться меньше массы видимой, вследствие потери вещества в стадии сверхгиганта и вследствие вспышки сверхновой, которая, по-видимому, всегда сопровождает коллапс [16]. Во втором случае, пока не начался вторичный обмен вещества, задача сводится к первому случаю. По этому методу релятивистские звезды в двойных системах еще не найдены, так как мало число систем с известными орбитальными элементами [1, 2].

Если в системе существует поток вещества, то аккреция на ЧД может привести к рентгеновскому излучению [17, 18]. Поэтому те рентгеновские источники (РИ), которые отождествляются с массивными эмиссионными звездами, нужно тщательно исследовать, чтобы выявить ЧД. Рентгеновские источники, которые являются ЧД в процессе аккреции, должны находиться в рукавах Галактики. Эти источники должны быть переменными [19].

Верхнее число РИ, обязанных своим происхождением аккреции на ЧД в кратных системах, можно оценить, предполагая, что 0.1 часть всех массивных эмиссионных звезд имеет релятивистские компоненты. (Наблюдаемые РИ не являются следствием аккреции на обычные компоненты, включая и белые карлики. В противном случае РИ было бы очень много). И теперь, принимая, что массивных эмиссионных звезд раз в 10 меньше числа всех звезд с теми же массами для верхнего числа РИ, светящихся за счет аккреции на ЧД, получим, цифру 10^4 . Так как при получении этой цифры мы старались получить нижний предел числа ЧД в тесных парах, то наиболее вероятной цифрой следует считать $3 \cdot 10^4$. Но РИ такого типа в Галактике менее $5 \cdot 10^3$, поэтому следует считать, что если действительно эти РИ являются ЧД в процессе аккреции, то при образовании ЧД 0.1—0.01 часть тесных пар не распадается. Светимость РИ мы приняли $\sim 10^{38}$ эрг/сек. С другой стороны мы знаем, что вышеперечисленные типы звезд в течение года теряют не менее 10^{-8} . Поэтому

для светимости $\sim 10^{36}$ эрг/сек нужно принять скорость аккреции $\geq 10^{-8} M_{\odot}$ год. А если эта скорость аккреции недостаточна для рентгеновской светимости в 10^{36} эрг/сек и такая светимость возникает только при большой скорости перетекания массы [20, 17]? В этом случае, поскольку стадия обмена массой между компонентами более чем на порядок меньше продолжительности всей эволюции, число РИ должно быть мало, разрыв пары привлекать не надо.

Необходимость разрыва пары не будет стоять так остро и в случае учета обмена массой между компонентами в двойной системе и потери вещества системой в целом. Из-за наблюдательной селекции мы очень часто НИЗЗ ищем среди тесных двойных систем, где необходимо учесть выводы теории эволюции звезд в тесных парах. Возможности образования НИЗЗ в тесных парах недавно рассмотрел Л. И. Снежно [21]. Конечно же, в тесных парах звезды с массами даже $\sim M_{\odot}$ могут превращаться в белые карлики. Именно этим объясняется появление белых карликов в молодых скоплениях и в паре с массивной звездой. Поэтому, действительно, число нейтронных и в особенности застывших звезд в тесных парах должно быть мало. Однако надо помнить, что существуют спектрально-двойные системы с полуамплитудой лучевой скорости ~ 15 км/сек. В случае массивных пар такой скоростью обладают звезды в широких парах. Поэтому должны быть обнаружены НИЗЗ в сравнительно далеких системах [22]. К сожалению, орбитальные элементы известны для слишком малого числа спектрально-двойных систем.

Рассмотрим еще одну сторону вопроса о разрыве пары. Если образование релятивистских звезд не сопровождается разрывом пар и специфика эволюции звезд в тесных двойных системах не меняет порядка числа релятивистских звезд в кратных системах, то, очевидно, число систем, содержащих такие компоненты, должно быть значительно больше, числа затменных и визуальных пар с $M_2 > 1.5 M_{\odot}$. Однако, как видно из табл. 1 это не так.

Таблица 1

1	2	3	4
$1.5 M_{\odot} < M_2 < 3 M_{\odot}$	15	3	30
$3 M_{\odot} < M_2 < 10 M_{\odot}$	18	5	180
$M_2 > 10 M_{\odot}$	19	3	220

В первом столбце приводится интервал масс второй компоненты, во втором — число затменных и визуальных пар, в третьем — верхнее число систем, возможно содержащих релятивистские звезды, в четвер-

том — ожидаемое число систем с релятивистскими компонентами при известном числе затменных и визуальных звезд. При составлении табл. 1 использован каталог Баттена [23].

Совершенно очевидно, что массы вторых компонент во всех случаях (затменных, визуальных и невидимых) определены с ошибками. Но это не мешает сделать вывод о том, что при коллапсе одной из компонент остается связанной менее 0.1 части кратных систем (настолько велика разница между ожидаемым числом релятивистских звезд и верхним числом их в двойных системах). В действительности ни в одной из систем, в которых предполагалось наличие релятивистских компонент, они пока не найдены. Поэтому для объяснения такого малого количества релятивистских звезд нужно привлечь разрыв пары.

Продолжать поиск ЧД среди двойных с невидимыми компонентами, подобных рассмотренным, пока затруднительно, так как в такой яркой системе, как β Лиры, еще не смогли разобраться [23, 24]. В случае оптических источников усилия надо направить на изучение систем, в которых перетекание вещества не наблюдается. Пока в рассматриваемых системах мы не нашли ничего такого, что было бы характерным только для релятивистской звезды. Отметим, что ни одна из звезд списков [1, 2] не отождествляется с известными рентгеновскими источниками [19].

В связи с поиском ЧД среди РИ возникает следующая задача. На телескопах с объективной призмой необходимо снять области локализации РИ и по спектрам выделить вышеуказанные типы звезд до 16-ой звездной величины. Чтобы избежать наложения спектров друг на друга и исследовать наиболее слабые звезды (доступные для данного телескопа с дисперсией $\sim 150\text{--}200 \text{ \AA/мм}$), нужно снимать области H_α и искать признаки эмиссии. Эту же работу можно выполнить, проводя многоцветную фотометрию (например, в системе Страйжиса) и дополнительно измерив поляризацию. В конце декабря и начале января 1973 года в нашей обсерватории, на 2-х метровом телескопе, наши сотрудники вместе с сотрудниками Вильнюсской обсерватории провели пробные фотоэлектрические наблюдения. Мы думаем в этом году начать исследование звезд, находящихся в квадрате неопределенности РИ. Недавно обнаруженные РИ Her X-1, Cyg X-1 и Cen X-3 убедительно показывают, что черные дыры нужно в первую очередь искать среди РИ, входящих в пары.

В заключение выражаю благодарность Я. Б. Зельдовичу за обсуждения, В. С. Рублеву за предоставление полезной информации от-

носителем звезды HD 193928 и К. Эдзанавичусу за проведение фотометрических измерений звезд HD 30353 и HD 33232.

Шемахинская астрофизическая
обсерватория

BLACK HOLE—THE COMPONENT OF MASSIVE EMISSION STAR

O. H. GUSEINOV

In order to search black holes four emission lines binaries are considered. At all systems invisible component is more massive than visible component. Analysis is realized on the basis of literature and data obtained at Shemacha Astrophysical Observatory. The special signs inherent to relativistic stars are not found in these systems. It is more perspective to search the black holes among the X-Ray sources, which are in the arms of Galaxy. These X-Ray sources must be identified with massive emission lines stars earlier than A3, giants of spectral class M and red supergiants. The direction of their search is indicated. It is shown that after collapse of one of the components less than 0.1 part of binaries is probably remained.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. О. Х. Гусейнов, Х. И. Новрузова, *Астрофизика*, 7, 65, 1971.
2. L. V. Trimble, K. S. Thorne, *Ap. J.*, 166, 1013, 1969.
3. J. F. Heard, O. Bosko, *Ap. J.*, 60, 162, 1955.
4. J. F. Heard, *Publ. David Dunlap Obs.*, 2, No. 9, 1962.
5. K. Nartai, *P.A.S Japan*, 19, No. 1, 63, 1967.
6. T. Lee, K. Nartai, *PAS Japan*, 21, 67, 1969.
7. P. W. Merrill, *Ap. J.*, 79, 343, 1934.
8. P. M. Merrill, *P.A.S.P.*, 61, No. 358, 38, 1949.
9. P. W. Merrill, *P.A.S.P.*, 65, No. 384, 113, 1953.
10. L. Searle, *Ap. J.*, 128, 61, 1958.
11. I. S. Hall, *U.S. Publ. Naval Obs.*, 17, part VI, 1958.
12. P. W. Merrill, *Ap. J.*, 110, 59, 1949.
13. W. W. Morgan, *Ap. J.*, Suppl. No. 14, 2, 1955.
14. J. B. Hatchings, P. G. Laskarides, *M. N.* 155, 357, 1972.
15. С. В. Рублев, *Астрон. ж.*, 41, 1063, 1964.
16. О. Х. Гусейнов, Х. И. Новрузова, *Астрон. ж.*, 48, 221, 1971.
17. О. Х. Гусейнов, *Астрон. ж.*, 47, 1143, 1970.
18. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, *Теория тяготения и эволюция звезд*, Наука, М., 1971.
19. О. Х. Гусейнов, П. Р. Аммуэль, *Рентгеновское излучение и аккреция вещества*, Баку, 1972.
20. И. С. Шкловский, *Астрон. ж.*, 44, 930, 1967.

21. *Л. И. Снежко*, Сообщ. САО АН СССР, вып. 6, 1972.
22. *Va. B. Zeldovich, O. H. Guseinov*, Ap. J., 144, 841, 1965.
23. *A. H. Batten*, Publ. Dom. astrophys. Obs., 8, 119, 1968.
24. *В. Г. Горбачкий*, Астрон. цирк., № 707, 1972.
25. *Д. Я. Мартынов*, УФН, 108, 701, 1972.