

**Новый взгляд на роль звездного ветра в двойных системах с
маломассивными гигантами**

Звёздный ветер в рентгеновских двойных системах с маломассивными звездами может оказаться важным каналом поступления вещества на компактный объект (нейтронную звезду или черную дыру). Взяв за образец маломассивную рентгеновскую двойную Sco X-1, Екатерина Филиппова и Михаил Ревнивцев из отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований РАН и их коллега Эллиот Росс Паркин (Австралийский национальный университет) провели численное моделирование того, как сильный звёздный ветер аккрецирует на компактный объект. Им удалось показать, что аккреция вещества по дополнительному каналу (из звёздного ветра, который обычно не учитывается при анализе аккреции с маломассивных звезд) заставляет темп аккреции колебаться на характерных временах, близких ко времени обращения объектов системы вокруг общего центра масс. Это происходит даже при отсутствии эксцентриситета в системе, когда, на первый взгляд, аккреция должна протекать стационарно и нет очевидных причин для появления периодических колебаний.

Статья по итогам работы принята к публикации в *Monthly Notes of Royal Astronomical Society* и размещена в архиве электронных препринтов arXiv.org. Она также получила первую премию на конкурсе научных работ ИКИ РАН 2012–2013 гг.

E. Filippova, M. Revnivtsev, E. R. Parkin *Long time-scale variability of X-ray binaries with late type giant companions* <http://arxiv.org/abs/1310.2173>

Рентгеновские двойные системы — один из важнейших классов объектов астрофизики высоких энергий. Они включают “обычную” звезду и компактный объект: белый карлик, нейтронную звезду или чёрную дыру. В ходе звездной эволюции обычная звезда может стать больше той области, в которой преобладает ее притяжение и, как следствие, начнет терять вещество, часть которого захватывает компактный объект. Падая на последний, оно закручивается в диск и постепенно движется по спирали, пока не упадёт окончательно. Процесс падения называется аккрецией, диск, соответственно, — аккреционным, а количество вещества, падающего на компактный объект в единицу времени, — темпом аккреции. Его определяют по рентгеновскому излучению от двойной системы: если говорить грубо, то чем сильнее она светит, тем более активно идёт аккреция.

Это картина в общих чертах, но процесс аккреции включает много деталей. Известно, например, что поток излучения от маломассивных рентгеновских двойных систем не постоянен. Причина вариаций — хаотические колебания эффективной вязкости вещества в аккреционном диске: где-то произошло взаимодействие между слоями аккреционного потока, произошел перенос углового момента вещества, оно продвинулось к компактному объекту, а где-то — нет, соответственно, меняется и темп аккреции. Для такого процесса самое длинное характерное время возникновения переменности — вязкое время на внешнем крае аккреционного диска. Оно очень велико (десятки и сотни дней). Однако наблюдения показывают, что переменность аккреционного потока в двойных системах с маломассивными звездами-гигантами содержит характерные времена порядка орбитального периода двойной системы (десятки часов). Откуда берётся это возмущение?

Одно из предположений состоит в том, что в маломассивных рентгеновских двойных с оптической звездой — гигантом или субгигантом к “основному” аккреционному диску добавляется вещество звездного ветра. Этим термином называют поток газа, который

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

непрерывно истекает со звезды во всех направлениях. Часть его может падать на диск и таким образом создавать модуляции темпа поступления вещества. Как это происходит и что в итоге получает компактный объект, исследовали Екатерина Филиппова и Михаил Ревнивцев (ИКИ РАН) вместе с Эллиотом Россом Паркином (Elliot Ross Parkin) из Австралийского национального университета.

За "образец" был взят рентгеновский источник Sco X-1 — наиболее яркая из известных маломассивная рентгеновская двойная система с оптической звездой массой около 0,42 солнечной массы и нейтронной звездой массой 1,4 солнечной массы. В год, по оценкам, оптическая звезда теряет примерно 10^{20} т (около 50 миллиардных массы Солнца) со скоростью около 380 км/с.

Известно, что орбитальное движение звезд приводит к тому, что вблизи компактного объекта в звездном ветре формируется турбулентное движение. Исследователи предположили, что часть звездного ветра "садится" на аккреционный диск, при этом возникает дополнительная переменность темпа аккреции, связанная с этим турбулентным движением, которая передается к внутренним частям диска с помощью короны над диском (см. рисунок 1).

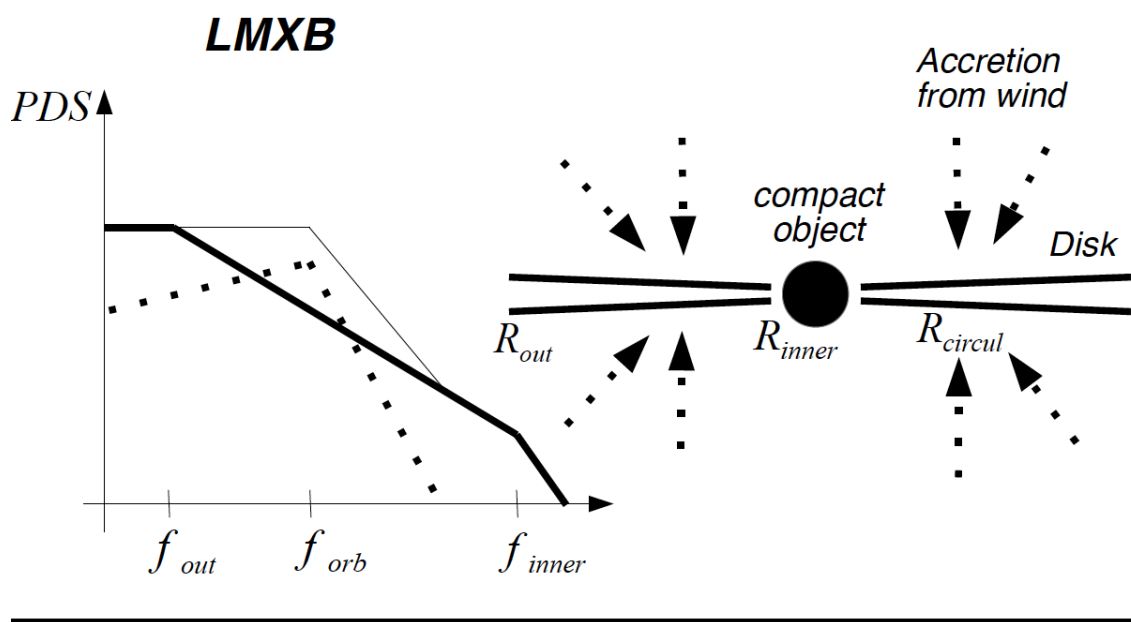


Рис.1. Справа — схема "падения" звездного ветра на аккреционный диск вокруг компактного объекта. На графике слева тонкой линией показан спектр вариаций рентгеновской яркости объекта как сумма двух спектров вариаций темпа аккреции: аккреционного диска и звездного ветра. Рисунок из статьи

Численное моделирование, которое учитывало гидродинамические эффекты "добавления" звёздного ветра к аккреционному диску, показало, что темп аккреции меняется с периодом, близким к орбитальному периоду системы. Это совпадает с тем, что наблюдают на рентгеновском небе.

Результаты моделирования, однако, показали, что скорость аккреции меняется лишь в пределах нескольких процентов, тогда как в существующих маломассивных двойных системах скорость аккреции может колебаться на 10–15 процентов. Причина тому, по мнению

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

исследователей, — большая упрощенность модели, которая не учитывает многих дополнительных параметров: например, то, как рождается звездный ветер и как на него влияет близкое соседство с компактным объектом. Тем не менее, как подчеркивают авторы, в работе удалось показать главное — при изучении аккреции на компактный объект следует учитывать дополнительное вещество звездного ветра.

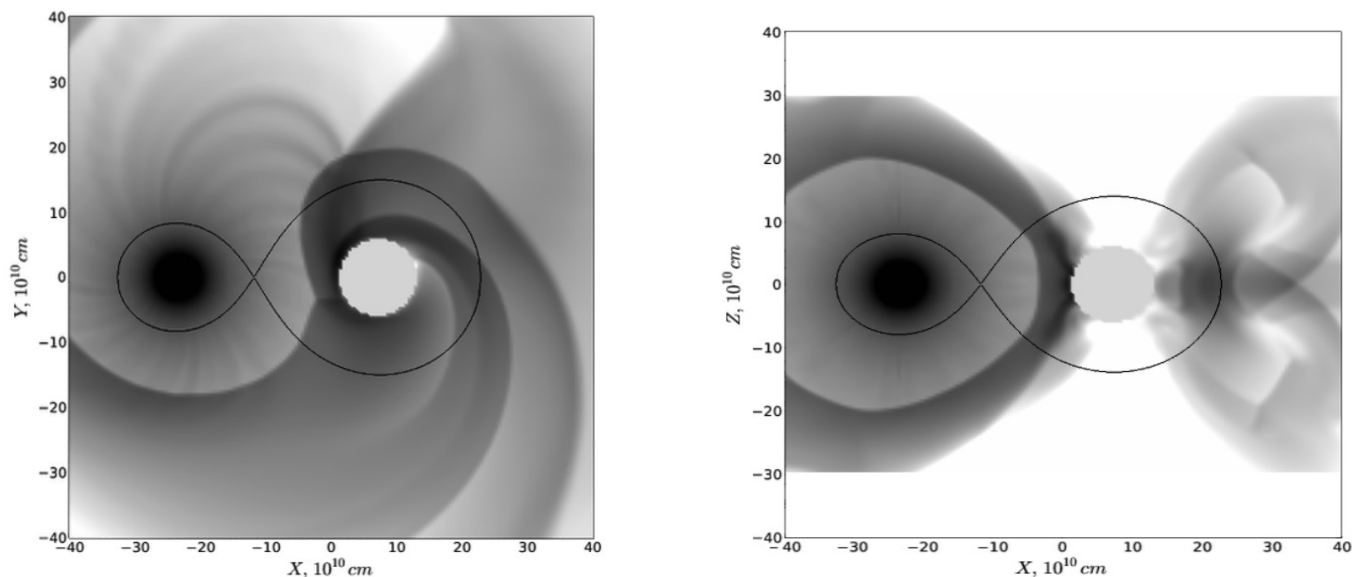


Рис.2. Результаты численного моделирования с помощью кода PLUTO. Вид на двойную систему сверху (слева) и сбоку (справа). Градациями серого показано распределение плотности звездного ветра. Тонкая линия — полость Роша для обеих объектов (полости, которые ограничивают сферу влияния звезд, т.е. в этих полостях гравитационно притяжение звезды сильнее, чем притяжение к соседней звезде и центробежная сила). Рисунок из статьи

Но есть ли возможность проверить эту гипотезу с помощью экспериментальных данных? С одной стороны, да: сильный звездный ветер в таких системах буквально “обволакивает” звезду и компактный объект, так что поглощает некоторую часть рентгеновского излучения. Характерные полосы поглощения в спектре можно наблюдать с помощью рентгеновских обсерваторий. С другой стороны, то же рентгеновское излучение может настолько сильно разогреть вещество звездного ветра, что последнее утратит свои поглощающие свойства. Так какой из этих двух механизмов окажется сильнее?

Ответ на этот вопрос тоже дало моделирование. Как показали Екатерина Филиппова и Михаил Ревнивцев, рентгеновский спектр двойной системы, в которой действуют описанные механизмы, содержит линии поглощения, хотя и очень слабые. Чтобы различить их, необходимы инструменты с высоким спектральным разрешением — как, например, те, что будут работать на японской обсерватории Astro-H (запуск в 2015 г.). Однако интересно, что подобные линии поглощения уже наблюдаются в некоторых маломассивных рентгеновских двойных с гигантами или сверхгигантами, в том числе и в системе Sco X-1.