**Ультрамощные рентгеновские источники**

С.Б.Попов

ГАИШ

Москва

Всех нас привлекает что-нибудь сверх-эдакое! И астрономы немало потрудились над придумыванием названий и терминов: сверхновые, сверхсветовое движение (имеется ввиду релятивистский эффект проекции при наблюдениях деталей в джетах), сверхпузыри (super bubbles), сверхзвезды, гиперновые ... Есть еще множество менее известных (и трудно переводимых) терминов. Желающие могут сами поискать их например с помощью поисковой системы NASA ADS. В последнее время появляется все больше научных статей о т.н. ультрамощных рентгеновских источниках (ULX - ultra luminous X-ray sources). Иногда название переводят как ультра-яркие, что неверно, т.к. речь идет не о яркости, а именно о мощности). Интерес вызван тем, что количество наблюдательных данных по этим источникам растет, а вот природа объектов остается неясной.

Рентгеновские источники большой светимости могут возникать по разным причинам. В первую очередь в голову приходят системы, где идет мощная аккреция. (Напомним, что эффективность аккерции может достигать 40 процентов от mc2, что в десятки раз выше эффективности термоядерного горения.) Один из классов таких объектов - это тесные двойные системы, состоящие из компактного объекта (нейтронной звезды или черной дыры) и нормальной звезды. Вещество с нормального компонента попадает в поле тяготения компактного (при заполнении полости Роша или через звездный ветер) и, в конце концов, если вещества не слишком много, падает на поверхность нейтронной звезды или проваливается под горизонт черной дыры. При этом излучается большое количество энергии в виде жесткого рентгеновского излучения.

Однако если темп аккреции слишком велик (а, следовательно, велика и светимость), то давление излучения оказывается больше, чем сила тяготения, и все вещество уже не может упасть на поверхность компактного объекта. Одновременно спектр излучения смещается в мягкую область, так как рентген поглощается и перерабатывается в окружающей компактный объект оболочке. Поэтому для каждого объекта существует некоторый предел светимости. Предельная светимость называется эддингтоновской (т.к. впервые эту проблему рассмотрел Артур Эддингтон). Она пропорциональна массе компактного объекта и для 1 Mo равна 1.3.1038 эрг/с. Если мы видим рентгеновский источник со светимостью порядка LX=1039 эрг/с, то следует думать, что в этом источнике находится существенно более массивный объект, чем стандартная нейтронная звезда (с типичной массой 1.4 Mo). А если светимость превышает LX=1040-1041 эрг/с, то даже для типичной черной дыры с массой 7-10 масс Солнца это многовато. Отсюда и возникает ультра- в названии данного типа источников.

История ультрамощных началась в 80-е гг. Тогда с помощью спутника Einstein ученые смогли получать изображения точечных источников в других галактиках. Если известно расстояние до галактики, то по измеренному потоку можно немедленно получить оценку светимости:

L=4\*π\* d2 \*f, (1)

где d - расстояние, а f - поток. Оказалось, что среди прочих наблюдаются объекты со светимостью >1039 эрг/с. В начале (поскольку разрешение приборов было еще недостаточно хорошим) считали, что источники находятся в центрах галактик. Однако довольно быстро удалось выяснить, что это не так, т.е. они не являются каким-то подвидом активных ядер. Уже ROSAT показал целый зоопарк ультрамощных источников, находящихся вне ядер галактик.

С самого начала было высказано несколько гипотез о том, какие объекты могут скрываться за общим названием "ультрамощные источники": от остатков сверхновых до плотных скоплений более слабых источников. Окончательной ясности с природой ультрамощных источников нет до сих пор. Часть гипотез отброшена, другие получили более глубокую разработку. Первой отброшенной оказалась гипотеза о сверхмассивных черных дырах с низкой светимостью. Дело в том, что такой объект не может долго находиться вне центра галактики. Как какая-нибудь взвесь в жидкости тяжелая черная дыра в конце концов "выпадет в осадок" - сместится в самый центр.

В нашей Галактике аккрецирующие объекты со светимостью в спокойном состоянии (т.е. не во время вспышечной активности) >1039 неизвестны, т.е. близкого примера ультрамощного источника мы не видим. Зато в соседних они наблюдаются во все возрастающем количестве. Попробуем перечислить основные современные гипотезы о природе ультрамощных рентгеновских источников, и кратко обсудим их.

**Гипотезы изобретаю!**

Основных гипотез о природе УМИ (ультрамощных источников) три:

1. Это просто далекие фоновые источники.

Возможно, что мы видим далекие активные ядра галактик, которые просто так удачно спроецировались, что мы наблюдаем их сквозь более близкие галактики. В этом случае никакой загадки нет: мы просто неверно рассчитываем светимость, т.к. считаем, что объект находится в наблюдаемой галактике, а на самом деле это далекая сверхмассивная черная дыра - сердце далекого квазара. Т.е. в формуле (1) мы неверно оценили расстояние.

Однако, как мы обсудим ниже, хотя для части наблюдаемых источников это может быть верно, тем не менее для всех УМИ такое простое объяснение не подходит: слишком мала вероятность случайной проекции на довольно необычную область (например, область звездообразования или шаровое скопление). Данный вариант объяснения важен для эллиптических галактик, где трудно ожидать появления молодых аккрецирующих систем с черными дырами.

2. Мы видим джет, направленный прямо на нас.

Обычно светимость рассчитывают в предположении сферически-симметричного излучения. Но не стоит забывать про то, что излучение может быть направленным. Это особенно вероятно в случае дисковой аккреции. В этом случае вещество втекает в экваториальной плоскости компактного объекта, а избыток падающей материи выбрасывается в виде двух струй в перпендикулярном диску направлении. Если возникает струя вещества и излучения (джет), и мы смотрим близко к оси джета, то мы будем видеть большой поток излучения. Если же мы не учтем этот факт, то при пересчете на полную светимость мы получим существенно завышенное значение. Т.е. в формуле (1) мы неверно используем поток (он различен в разных направлениях, а потому нельзя просто умножать на 4π).

Эта гипотеза хороша тем, что все можно объяснить без экзотики обычными нейтронными звездами и черными дырами: реальная полная светимость окажется на уровне 1038-1039 эрг/с, а регистрировать мы будем мощный поток, идущий вдоль оси джета.

3. Аккреция на черные дыры промежуточных масс.

Пожалуй, это самая интригующая возможность. Если светимость велика, и мы не хотим иметь проблемы с эддингтоновским пределом, то можно предположить, что просто масса аккретора велика. Действительно, если светимость составляет 1041 эрг/с, то это вполне объяснимо при массе компактного объекта, равной 1000 масс Солнца. Проблема только в том, где такие объекты взять.

**Pro et contra**

Начнем обсуждение с первой гипотезы о фоновых источниках. Конечно, они должны быть! Вероятность случайной проекции не мала, но вот насколько не мала? Подсчитать (не вдаваясь в детали) несложно. Нужно взять количество фоновых источников на единицу площади небесной сферы и умножить на площадь типичной галактики. Получим ожидаемое число источников на галактику. И это число качественно позволяет объяснит значительную долю УМИ. Однако ...

Однако ультрамощные источники любят проявляться в галактиках с мощным звездообразованием, причем прямо-прямо в очагах формирования звезд. Вероятность проекции на столь выделенное место уже не велика, т.к. мала площадь самой области звездообразования. Поэтому полагают, что в таких случаях мы имеем дело не с фоновыми объектами, а с молодыми тесными двойными системами.

Другое дело эллиптические галактики. Там молодых массивных звезд фактически нет, поэтому появление УМИ выглядит достаточно загадочным. Статистические исследования показали, что фактически все УМИ в эллиптических галактиках ранних типов можно объяснить проекцией более далеких источников. Все кроме некоторых особых случаев. Например, в одной из галактик УМИ находятся в шаровых скоплениях. Такое совпадение уже не объясняется проекцией.

Перейдем к асимметрии излучения (к джетам). Источники с джетами хорошо известны. Поэтому ничего особенно необычного тут нет. Например, есть знаменитый источник SS433, есть другие микроквазары и микроблазары. Попади луч зрения прямо в джет, мы увидели бы очень яркий объект. Вероятность этого не велика, но и не мала. Кроме того, направленное излучение позволяет объяснить некоторые спектральные свойства УМИ. Так что данная гипотеза является, пожалуй, лидирующей (по-крайней мере в приложении в источникам со светимостью <1040 эрг/с, находящимся в областях звездообразования). Приятно отметить, что российские ученые (Сергей Фабрика и Александр Мещеряков) были одними из первых, кто начал активно разрабатывать именно эту гипотезу.

Наконец, поговорим о черных дырах промежуточных масс. Эта гипотеза была предложена Колбертом и Мушоцким (E.J.M. Colbert, R.F. Mushotzky) в 1999 г. Основная проблема этого подхода заключается в том, что непонятно откуда возьмется достаточное количество черных дыр с массами порядка 100-1000 масс Солнца, и как они будут захватывать нормальные звезды, вещество которых будет потом аккрецировать на компактный объект.

Напомним, что обычно обсуждают три типа черных дыр. Это черные дыры звездных масс (примерно 10 масс Солнца). Они образуются из массивных звезд, когда в тех заканчивается термоядерное горючее. Затем хорошо известны сверхмассивные черные дыры в центрах галактик (массы от миллиона до миллиардов солнечных). И, наконец, первичные черные дыры, массы которых невелики (порядка массы крупного астероида). Видно, что интервал 100-1000 масс солнца остается незаполненным.

Что можно придумать? Во-первых, долгое время обсуждалась возможность образования черных дыр промежуточных масс в центрах шаровых скоплений. Однако здесь есть свои проблемы, а кроме того такими объектами не объяснить появление источников в областях звездообразования. Что еще? Еще черные дыры с массами порядка 100-200 масс солнца должны образовываться из самых первых звезд. Эти звезды рождались в облаках газа (по одной на облако), которые сами находились в небольших гало темной материи с массой порядка миллиона масс Солнца. Затем эти гало сливались, постепенно формируя галактики (т.н. сценарий иерархического скучивания). Т.о. черные дыры попадали в обычные галактики. Считается, что именно из них начали расти центральные сверхмассивные дыры. Здесь хочется обсудить один любопытный сценарий.

**Гравитационная ракета**

Более 20 лет назад Фитчетт (M.J. Fitchett) указал, что при слиянии двух черных дыр центр масс системы будет приобретать импульс. Скорость при этом может быть довольно большой. Новые расчеты показали, что 100-200 км/с является вполне типичным значением, а максимальное может доходить до 500 км/с. Почему это важно для нашего обсуждения? А вот почему. Если в результате слияния гало две черные дыры также слились, то получившаяся в результате черная дыра приобрела значительную скорость. Она могла вылететь из образовавшейся протогалактики, а могла начать "болтаться" в гало. Т.о. значительная часть таких первых черных дыр (не путать с первичными!) могла не войти в наблюдаемые сейчас сверхмассивные черные дыры, а остаться в галактике или вылететь в межгалактическое пространство. Масса таких "черных бродяг" должна быть порядка 100-400 масс солнца.

Можно оценить число первых черных дыр. Оно оказывается более 1013. Это много. Если считать, что все они остались "болтаться" в галактиках, то мы получаем около 1000 на галактику. Конечно, значительная часть из них все-таки покинет галактики или пойдет на формирование сверхмассивных черных дыр. Но даже если останется всего лишь несколько процентов, то этого количества будет достаточно для объяснения статистики наиболее мощных УМИ (0.01 на галактику при активном времени жизни источника в 10 миллионов лет). Проблема только в том, как сделать так, чтобы хотя бы каждая десятая черная дыра могла захватить обычную звезду (хотя бы раз за 10 миллиардов лет).

Захватить одиночную звезду почти невозможно. Для черной дыры наиболее верный способ захватить звезду таков. Надо пролететь достаточно близко от двойной системы (на расстоянии в несколько радиусов орбиты или меньше). Тогда система может разрушиться, и одна из компонент будет захвачена черной дырой. Если черная дыра все время двигается вблизи плоскости диска галактики, то вероятность оказывается не мала. Вопрос только в том, можно ли поместить необходимое число черных дыр на такие орбиты. Ответа пока нет. В эллиптических галактиках для высокой вероятности захвата нужно, чтобы черная дыра колебалась вблизи галактического центра. Опять же достигнуть этого непросто. А вот в шаровых скоплениях такой способ захвата дает достаточно высокую вероятность, но неясно почему черные дыры могут оказаться в шаровом скоплении.

**Что в итоге?**

В итоге вопросов больше чем ответов. Как это часто бывает в астрономии, несмотря на обилие наблюдательных данных окончательного понимания нет. По всей видимости, все три гипотезы могут реализовываться в природе. Фоновые источники обязательно есть, это особенно важно для эллиптических галактик. В спиральных галактиках значительная часть УМИ может быть обычными микроквазарами с джетами, направленными на нас. Некоторые источники в эллиптических галактиках, а также в спиральных вне областей звездообразования, вполне могут быть связаны с черными дырами промежуточных масс.