

27.10.2014

Турбулентный нагрев газа в ядрах скоплений галактик сверхмассивными черными дырами

Турбулентные движения в центрах скоплений галактик являются источником нагрева горячего газа и предотвращают его быстрое охлаждение. Группа исследователей, включающая сотрудников Института космических исследований РАН, обнаружила возможный механизм передачи энергии от сверхмассивных черных дыр к газу скоплений. Об этом говорится в опубликованной 26 октября на сайте журнала «*Nature*» [1] статье, которая выйдет в печатном номере журнала 6 ноября 2014 г.

Скопления галактик — самые массивные объекты во Вселенной. Они состоят из сотен и тысяч галактик, горячего газа и темной материи, которые внутри скопления удерживает вместе гравитация. Горячий газ, представляющий собой самую массивную барионную компоненту скоплений, разогрет до температур в десятки и сотни миллионов градусов и интенсивно излучает в рентгеновском диапазоне (поэтому скопления — яркие источники рентгеновского излучения).

При этом энергия, которая идет на излучение, черпается из тепловой энергии частиц газа, резервуар которой конечен, поэтому со временем газ должен остывать. В результате в центрах скоплений, где время охлаждения (сотни миллионов лет) намного меньше возраста самих скоплений (миллиарды лет), должен постепенно скапливаться холодный газ и, как следствие, интенсивно образовываться звезды. Но наблюдения не подтвердили наличие холодного газа предсказываемой массы. Это значит, что в центральных областях скоплений галактик должен быть какой-то источник нагрева газа.

Наиболее вероятными кандидатами на эту роль являются гигантские черные дыры в центрах скоплений галактик, массой в миллионы и даже миллиарды масс Солнца. Ранее было показано, что механическая мощность пузырей релятивистской плазмы, «надутых» такой сверхмассивной черной дырой, сравнима с величиной потерь газа на охлаждение при рентгеновском излучении. Однако оставалось неясным, как именно происходит нагрев газа.

«Есть несколько возможных механизмов передачи энергии от сверхмассивных черных дыр к горячему газу в центрах скоплений галактик. Однако до сих пор не было известно, какой из них реализуется, — говорит первый автор статьи, опубликованной в новом выпуске «*Nature*», постдок Стэнфордского университета (США) **Ирина Журавлева**. — Мы показали, что нагрев происходит за счет диссипации турбулентных движений газа, которые можно измерить с помощью статистического анализа рентгеновских изображений (Рис.1) скоплений галактик».

Пузыри релятивистской плазмы, «надутые» черной дырой, расширяются и всплывают в горячем газе скоплений (Рис.2). При этом они возбуждают внутренние волны и турбулентность газа, передавая им большую часть своей энергии, которая в конечном итоге переходит в тепло. Но чтобы определить темп нагрева за счет турбулентности, необходимо измерить скорости движений газа, что не удается сделать напрямую из-за недостаточного спектрального разрешения существующих рентгеновских обсерваторий. Пришлось действовать «обходными» методами.

Группа исследователей, включающая сотрудников Стэнфордского университета (США), ИКИ РАН, Института астрофизики Общества им. Макса Планка (Германия), Оксфордского университета (Великобритания) и других институтов, предложила метод измерения скоростей турбулентных движений газа. «Нам удалось связать амплитуду флуктуаций плотности со скоростями движений горячего газа в скоплениях галактик. Ситуация очень схожа с волнами на поверхности океана, — говорит ведущий сотрудник ИКИ РАН, член-корреспондент РАН **Евгений Чуразов**. — Чем больше скорость воды, тем выше волны на поверхности океана. Аналогичная связь есть и для газа скоплений галактик».

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН
СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

27.10.2014

Чтобы применить эту связь на практике реальных наблюдений, исследователи использовали данные орбитальной рентгеновской обсерватории «Chandra» (НАСА), проводившей глубокие рентгеновские наблюдения скоплений галактик в созвездии Персея и Девы — ближайших к нам самых ярких скоплений (Рис. 1). «Подобные измерения — один из самых ярких примеров использования уникальных возможностей обсерватории Чандра, которая позволяет измерять флуктуации плотности вплоть до малых масштабов за счет высокого пространственного разрешения, недостижимого другими действующими рентгеновскими обсерваториями» — сказал ведущий научный сотрудник ИКИ РАН **Алексей Вихлинин**.

Полученные данные позволили измерить амплитуду флуктуации плотности газа в широком диапазоне пространственных масштабов — говоря упрощенно, насколько сильно газ выведен из равновесия за счет движений. Это позволило измерить скорости движений газа и оценить темп его нагрева за счет диссипации (Рис. 3). «Оказывается, что энергии в турбулентности достаточно для того, чтобы сбалансировать потери газа на излучение в центральных областях скоплений галактик», — говорит профессор Оксфордского университета **Александр Щекочихин**. Таким образом, полученные результаты подтверждают взаимное влияние черной дыры и газа, в результате которого сохраняется примерное равновесие между нагревом и остыванием газа.

«Мы имеем дело со сложной системой: остывающий газ питает черную дыру, которая в ответ надувает пузыри релятивистской плазмы, порождает турбулентные движения газа, энергия которых в конечном счете переходит в тепло и нагревает газ», — подводит итог исследованию главный научный сотрудник ИКИ РАН, академик РАН **Рашид Сюняев**. Подобное взаимное влияние черной дыры и газа может происходить и в других объектах, содержащих много горячего газа, например в группах галактик и отдельных массивных эллиптических галактиках.

Дополнительная информация:

Ирина Журавлева, постдок Стэнфордского университета, выпускница Санкт-Петербургского государственного университета и аспирантуры Института астрофизики Общества им. Макса Планка (Германия) zhur@stanford.edu

Евгений Чуразов, член-корреспондент РАН, ведущий сотрудник ИКИ РАН churazov@iki.rssi.ru

Александр Щекочихин, профессор Оксфордского университета

Рашид Сюняев, академик РАН, главный научный сотрудник ИКИ РАН, sunyaev@iki.rssi.ru

Алексей Вихлинин, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ИКИ РАН

I. Zhuravleva, E. Churazov, A. A. Schekochihin, S. W. Allen, P. Arevalo, A. C. Fabian, W. R. Forman, J. S. Sanders, A. Simionescu, R. Sunyaev, A. Vikhlinin, N. Werner “*Turbulent heating in galaxy clusters brightest in X-rays*”, **Nature**, Oct 26, 2014.

<http://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature13830.html>

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

27.10.2014

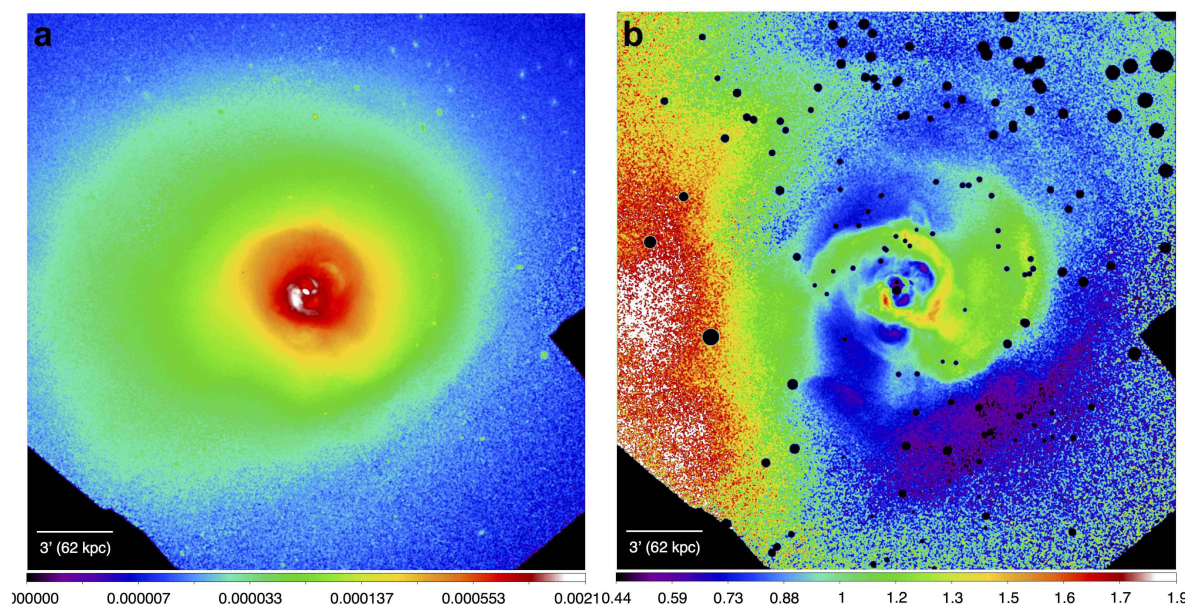


Рис. 1. а) Изображение скопления галактик в созвездии Персея в рентгеновском диапазоне. Цвет отображает яркость скопления: от высокой в центре (белый) до более низкой к краям (синий). б) Отклонения рентгеновской поверхностной яркости в скоплении в Персее от симметричной модели (изменение цвета от синего к красному и белому означает увеличение рентгеновской яркости)

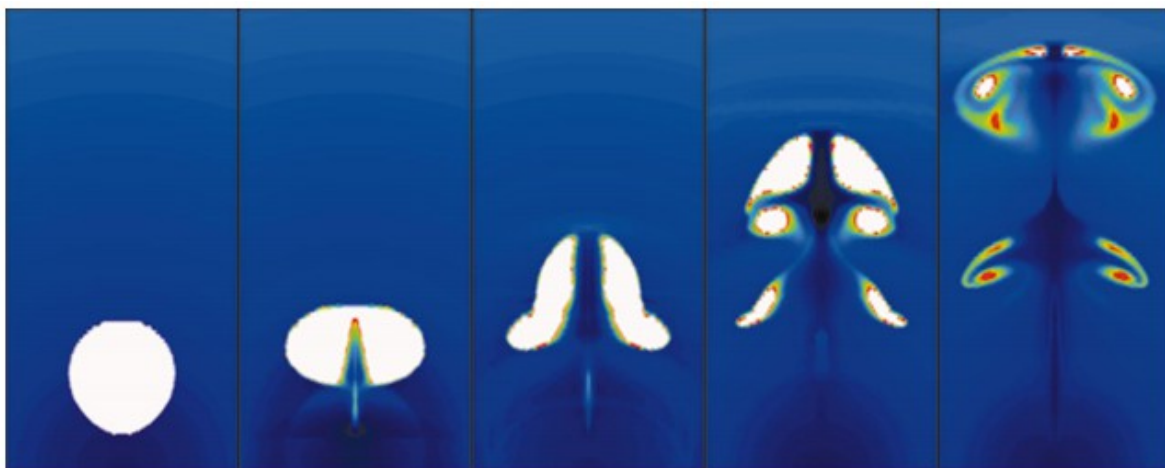


Рис. 2. Моделирование всплывающих пузырей релятивистской плазмы в центрах скоплениях галактик (из работы Чуразова и др., 2001). Вероятно, что турбулентные движения газа возбуждаются подобными пузырями

27.10.2014

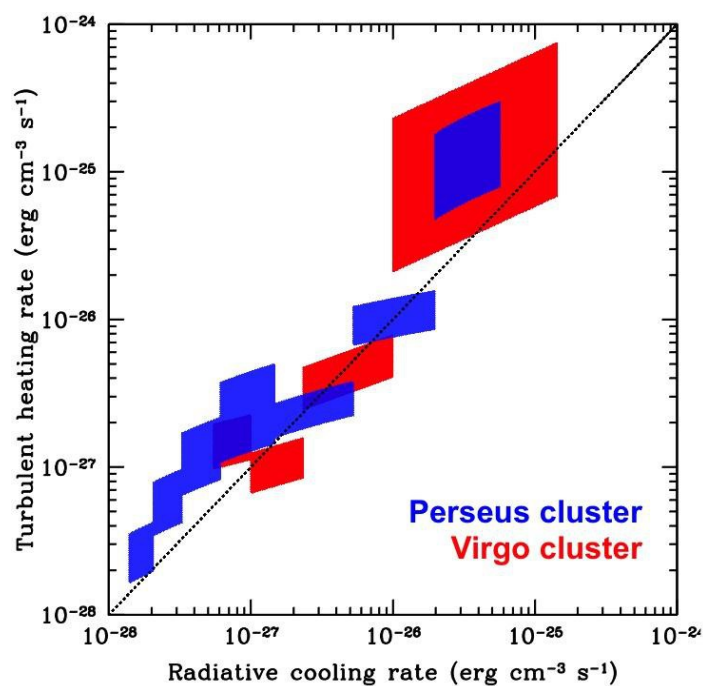


Рис. 3. Темп нагрева газа за счет диссипации турбулентных движений газа (ось Y) в сравнении с темпом охлаждения газа (ось X). Темп нагрева измерен из анализа рентгеновских изображений скоплений галактик в созвездии Персея (синий) и Девы (красный). Черная пунктирная линия соответствует идеальному балансу нагрева и охлаждения