

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

**«Грядет эра больших обсерваторий, и мы должны готовиться к тому, чтобы интерпретировать их данные»**

Медаль Российской Академии наук с премиями для студентов в области общей физики и астрономии присуждена Ильдару Хабибуллину, аспиранту Института космических исследований РАН (отдел астрофизики высоких энергий), с формулировкой «за работу «Исследование релятивистских джетов, формирующихся при образовании черных дыр и аккреции на них вещества, по данным рентгеновских наблюдений».

Используя численное моделирование процессов, происходящих в окрестности черных дыр, исследователи показали, что эффекты рассеяния фотонов внутри джета существенно влияют на форму спектра рентгеновского излучения и, следовательно, должны учитываться при интерпретации результатов. Это обстоятельство станет особенно важным с запусками новых космических обсерваторий высокого спектрального разрешения, которые должны последовать уже в ближайшие годы.

Церемония награждения лауреатов состоялась 2 апреля 2013 г. в Президиуме РАН.

Работы Ильдара Хабибуллина, которые были удостоены награды, связаны с так называемыми джетами — струями плазмы, которые с большой энергией выбрасываются из непосредственной окрестности центрального объекта. Им может быть, например, чёрная дыра, поглощающая вещество (этот процесс называется аккрецией, от лат. *accretio* — «приращение», «увеличение»), в том числе сверхмассивные чёрные дыры в центрах галактик, или сливающиеся чёрные дыры или нейтронные звёзды. Свойства джетов могут быть разными, но в любом случае, исследуя их, им можно подобраться ближе к пониманию природы и механизма «работы» центральной машины — ведь сами черные дыры не излучают.

Первая работа Ильдара Хабибуллина, совместная с научным руководителем Сергеем Сазоновым, (опубликована в «Письмах в Астрономический журнал») ведущим научным сотрудником ИКИ РАН, посвящена известному объекту SS 433. Этот необычно яркий источник рентгеновского излучения, который, как предполагается, состоит из двух объектов: чёрной дыры (12 масс Солнца) и звезды-сверхгиганта (20 масс Солнца). Чёрная дыра в этой паре активно «питается» веществом компаньона, причём это происходит в так называемом режиме сверхкритической аккреции. Это означает, что этот источник излучает настолько сильно, что давление излучения выбрасывает часть вещества в окружающее пространство, в частности, в виде двух узких струй (джетов), перпендикулярных к аккреционному диску. Из-за особенностей вращения объектов этой двойной системы один из выбрасываемых джетов периодически наклоняется в направлении на земного наблюдателя — минимальный угол оси джета с направлением на наблюдателя примерно 60 градусов.

Хотя SS 433 наблюдали уже давно, свойства его джетов (плотность вещества, размер и угол, на который расходятся струи) до сих пор остаются в большой степени не определенными. Более того, некоторые особенности, обнаруженные из наблюдений, не совпадают с предсказаниями стандартных моделей подобных источников. Значит, надо уточнять представления о том, что происходит внутри джетов.

Ильдар Хабибуллин провел детальный учёт эффектов рассеяния внутри джета для линий стандартного рентгеновского диапазона. Говоря схематично, фотон линии, который испускается внутри струи, практически не может сразу отправиться в свободный полёт, потому что само вещество джета для него не прозрачно. По пути «наружу» фотон претерпевает, иногда многочисленные, взаимодействия с электронами и ионами плазмы, составляющей джет. Соответственно меняется и форма итогового спектра рентгеновского излучения.

# ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

## СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

Затем была построена физическая модель джета в источнике SS 433 и процессов рассеяния и переизлучения фотонов внутри него, в предположении, что состав вещества джета схож с солнечным: большую часть составляют водород и гелий, с малой примесью более тяжёлых элементов (железа, никеля, кальция, кремния, серы и аргона). Затем исследователи численно моделировали процессы рассеяния фотонов в такой среде, получив в итоге несколько характерных профилей линий для широкого набора возможных значений параметров джета и интегральный спектр — как должно выглядеть суммарное рентгеновское излучение джета SS 433.

Выводы, к которым пришли исследователи: эффекты рассеяния внутри джета могут уменьшать интенсивность излучения в линиях (иногда довольно значительно). Кроме рассеяния, значение имеет и нутация (колебания оси вращения) джета, из-за которой можно неверно оценивать, насколько широко расходится струя. Наконец, учитывая эффекты рассеяния, можно оценивать и свойства самого джета — распределение плотности и температуры.

Сравнив численные результаты с имеющимися наблюдательными данными, исследователи заключили, что интерпретацию реальных спектров нужно частично корректировать. Но имеющиеся инструменты (в первую очередь рентгеновская обсерватория *Chandra*, НАСА, которой мы обязаны основным знанием о рентгеновских джетах SS 433) не обладают достаточной чувствительностью, чтобы «увидеть» тонкие особенности рентгеновских спектров.

Однако уже в самом ближайшем будущем в космосе появятся новые инструменты, которые позволят ответить на многие вопросы. В частности, речь идёт о японском аппарате *Astro-H* (планируемый запуск в 2014 г.), а также о российско-немецкой обсерватории «Спектр-РГ» (запуск в 2014 г.), нацеленной на обзор всего неба в рентгеновском диапазоне.

«Нас ожидают новые обсерватории, которые будут получать спектры источников очень высокого разрешения и покрывать большую площадь на небе, так что можно ожидать новую науку и надо быть готовым к ней», — так объясняет Ильдар Хабибуллин значение этих исследований.

С этим связана вторая статья, также написанная в соавторстве с Сергеем Сазоновым (третий автор — академик РАН Рашид Сюняев, опубликована в *Monthly Notices of the Royal Academical Society*). В ней речь идет о джетах другого типа — тех, что рождаются в гамма-всплесках (очень мощных вспышек гамма-излучения). Хотя природа этого явления до конца не понятна, речь идёт об очень энергичных событиях, при которых также могут образовываться джеты, которые, взаимодействуя с межзвездной средой, рожают рентгеновское послесвечение. Именно его может зарегистрировать главный прибор «Спектра-РГ» — телескоп eROSITA (рабочий диапазон энергий которого 0,5–2 кэВ). В ходе обзора всего неба, который продлится четыре года, он, безусловно, будет наблюдать и послесвечения, поэтому очень важно заранее разработать алгоритм выделения этих явлений и их отличительные признаки. Этому и посвящена работа.

В качестве «входной информации» использовались параметры телескопа eROSITA (энергетический диапазон, время, за которое она совершает обзор неба) и имеющиеся данные о распределении и характеристиках послесвечений гамма-всплесков и сходных с ними явлений. Согласно результатам расчетов, за 4 года eROSITA сможет наблюдать порядка 40 рентгеновских послесвечений. Хотя это число может показаться малым, важно, что при этом речь идёт о «сквозном» просмотре неба: телескоп не будет специально ориентирован на «охоту» за гамма-всплесками, а потому эта выборка будет «несмещенной» в сторону гамма-ярких событий и по её характеристиками можно будет говорить в первую очередь о статистических свойствах самих послесвечений.

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

Медаль РАН Ильдар Хабибуллин получил ещё как студент Московского физико-технического института (МФТИ, факультет проблем физики и энергетики), куда поступил в 2006 году. В отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН он активно работает с четвертого курса (в прошлом году Ильдар стал аспирантом Института), когда и начал заниматься источником SS 433.

«Специфика этой работы ещё и в том, что она затрагивает большое количество различной физики и в этом смысле очень полезна в педагогическом плане. Когда студент что-то делает своими руками, то он понимает, какие физические процессы задействованы, как вообще природа «работает» в таких ситуациях».

Ильдар Хабибуллин продолжает заниматься темой джетов, в частности, в связи с обработкой данных обсерватории Chandra. Также завершается ещё одна работа, связанная с СРГ. Джет может наблюдаться и в тех случаях, когда звезда, пролетая вблизи сверхмассивной черной дыры в центре галактики, разрушается приливным образом. В этот момент, черная дыра начинает аккрецировать вещество звезды. «Есть подозрения, что в таких случаях тоже формируются джеты, и мы сделали оценки, сколько eROSITA сколько сможет их детектировать, Сейчас известна примерно дюжина — из них только 2 с «подозрением» на джет, — обнаруженная различными способами, примерно 5 из рентгеновских наблюдений. По нашим прогнозам может быть несколько тысяч таких событий».

Джеты — не единственная область интересов исследователя. Диссертационная работа Ильдара Хабибуллина касается активных ядер галактик. Так называют сверхмассивные черные дыры (массой порядка несколько миллионов масс Солнца) в центрах галактик, которые активно поглощают вещество, при чём выделяется большое количество энергии. Цель состоит в том, чтобы связать свойства галактики со свойствами её центрального объекта. Взаимодействие может происходить в том числе через джеты, но не только: информацию несёт и, например, излучение аккреционного диска вокруг неё.

**Статьи:**

1. Хабибуллин И.И., Сазонов С.Ю. Формирование рентгеновских линий в спектре SS 433. *Письма в Астрономический журнал*, Т. 38, № 7, 2012, с.503–529  
[http://hea.iki.rssi.ru/~sergei/pazh/pazh2012\\_38.html](http://hea.iki.rssi.ru/~sergei/pazh/pazh2012_38.html)

На английском языке в архиве электронных препринтов:

Khabibullin I.I.; Sazonov S.Yu. X-ray line formation in the spectrum of SS 433  
<http://arxiv.org/abs/1206.0451>

2. Khabibullin, I.; Sazonov, S.; Sunyaev, R., SRG/eROSITA prospects for the detection of GRB afterglows. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 426, Iss. 3, pp. 1819–1828.  
<http://mnras.oxfordjournals.org/gca?gca=mnras%3B426%2F3%2F1819&submit=Go&action=Get%20All%20Checked%20Abstracts>

Статья доступна на сайте архива электронных препринтов  
<http://arxiv.org/abs/1206.6801>

**Дополнительная информация:**

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

Постановление РАН о присуждении медалей РАН с премиями для молодых ученых РАН, других учреждений, организаций России и для студентов высших учебных заведений России по итогам конкурса 2012 года в газете «Поиск»

<http://www.poisknews.ru/contests/result/5362/>

Сообщение пресс-службы РАН о церемонии награждения

<http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=7271a488-37b2-4229-967d-cc3a84477279#content>

Художественное представление объектов в источнике SS 433. (c) NASA

[http://www.astronet.ru/db/xware/msg/1163755/ss433\\_art\\_big.gif.html](http://www.astronet.ru/db/xware/msg/1163755/ss433_art_big.gif.html)