



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2016 • Труды конференции



С.Н.Фабрика

**Происхождение металлов во
Вселенной: расчет ядерных реакций**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Фабрика С.Н. Происхождение металлов во Вселенной: расчет ядерных реакций // Научный сервис в сети Интернет: труды XVIII Всероссийской научной конференции (19-24 сентября 2016 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2016. — С. 314-316. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2016/22.pdf>

Размещена также [презентация к докладу](#)

Происхождение металлов во Вселенной: расчет ядерных реакций

С.Н.Фабрика

САО РАН

Я расскажу о происхождении химических элементов во вселенной. Вселенная родилась 13.6 млрд. лет назад, ее рождение называется Большим Взрывом. В этот же момент появилось время в нашей Вселенной. В течение 3х минут после Рождения, во вселенной образовался водород и гелий, эти элементы не могли быть основой жизни. Остальные элементы образовались в звездах. Первые звезды появились через 200 млн лет, они образовали элементы необходимые для жизни. Когда звезда заканчивает свою жизнь, она взрывается как Сверхновая. Из этой обогащенной среды 5 млрд лет назад появилось Солнце, а 4.5 млрд лет назад наша планета. Звезды образуются, сверхновые взрываются и в наше время.

Квazarы — это сверхмассивные черные дыры, которые находятся в центре каждой галактики. Черные дыры увеличивают свою массу за счет падения на них газа и звезд, этот процесс называется аккрецией. Наблюдения показывают, что первые квазары появились около 600 млн лет после рождения вселенной. Мы прямо наблюдаем самые ранние квазары, масса черных дыр которых составляет миллиарды масс Солнца. С точки зрения стандартной теории аккреции такое быстрое накопление массы черной дыры невозможно в принципе. Быстрый рост массы черных дыр квазаров считается одной из основных проблем космологии и астрофизики. Тем не менее есть решение этой проблемы, которое заключается в сверхкритическом режиме аккреции на черные дыры ранних квазаров. Сверхкритический режим аккреции означает, что поток массы на черную дыру превышает предел Эддингтона (на этом пределе давление излучения сравнивается с гравитационным притяжением).

Оказалось, что при сверхкритическом режиме аккреции на черную дыру, из внутренних частей аккреционного диска выбрасывается огромное количество материи в виде ветра и релятивистских струй. Скорость такого ветра составляет несколько тысяч км/сек, скорость струй - десятки тысяч км/сек. Недавно мы выяснили, что при сверхкритическом режиме аккреции на черную дыру производятся химические элементы, от азота, кислорода до никеля, цинка, и даже более тяжелые элементы. Этот процесс мы назвали "коллайдер на черных дырах". Такой процесс формирования элементов ранее был неизвестен в астрофизике. Получается, что кроме Большого Взрыва и

кроме формирования элементов в звездах через Сверхновые, есть третий канал производства элементов - сверхкритические черные дыры.

На примере единственного известного объекта в нашей Галактике – сверхкритического аккректора (объект называется SS433), мы рассчитали процесс формирования элементов. Объект SS433 содержит черную дыру около 10 масс Солнца [1], но мы нашли, что эффективность процесса ядерных реакций не зависит от массы черной дыры, следовательно, в сверхмассивных черных дырах (квазарах) должны идти такие же процессы. Мы рассчитали сетку моделей ядерных реакций (nuclear network) на основе имеющейся в общем доступе базы данных сечений ядерных реакций TENDL-2012, в которой есть код ядерных реакций TALYS [2]. На рис. 1 показана примерная схема сверхкритического аккреционного диска, в центре которого, в области нескольких радиусов Шварцшильда (размер черной дыры) должны идти ядерные реакции.

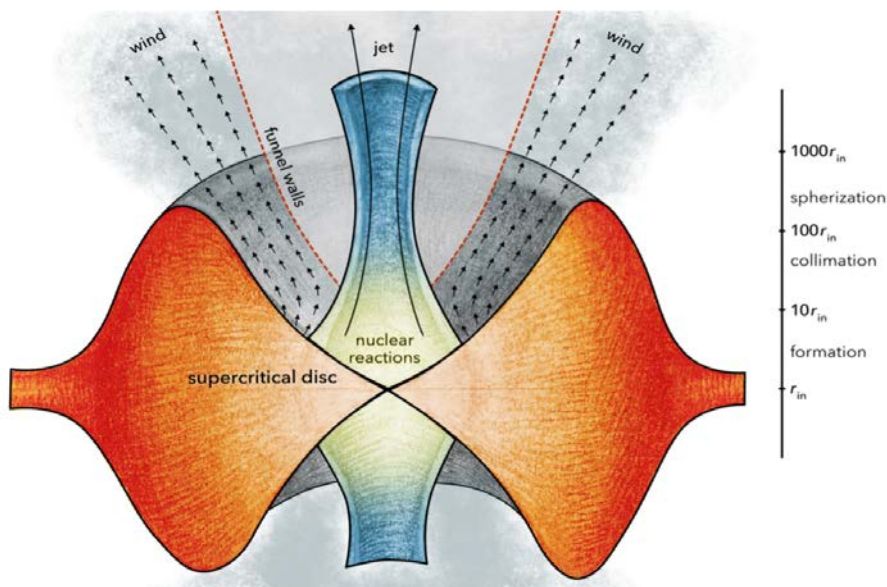


Рис. 1. Схема канала сверхкритического аккреционного диска. Показаны характерные размеры области формирования джета (jet), области коллимации джета (collimation), а также области сферизации аккреционного диска (spherization). В сверхкритическом диске мощный ветер, истекающий со скоростью несколько тысяч км/с, формирует стенки канала (funnel). Все размеры показаны в единицах r_{in} . Это соответствует трем радиусам Шварцшильда или последней устойчивой орбите вокруг черной дыры.

Если в случае сверхкритической аккреции на черные дыры «звездных масс» (SS433) наш новый канал ядерных реакций производит незначительное количество элементов. Например, Сверхновые звезды выбрасывают в среду в сотни и тысячи раз больше элементов тяжелее гелия, чем от сверхкритических аккреционных дисков. Химическое обогащение нашей Галактики определяется только Сверхновыми. В случае ранних квазаров, в первый миллиард лет черные

дыры в квазарах набирают массу несколько млрд масс Солнца. При этом эффективность нового канала в сверхкритических дисках возрастает в такое же количество раз (миллиарды) по сравнению с черными дырами звездных масс. Здесь Сверхновые звезды могут быть менее эффективны в обогащении среды. В первый млрд лет после рождения Вселенной необходимо учитывать производство элементов в сверхкритических дисках.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00043).

Литература

1. Fabrika S. "The jets and supercritical accretion disk in SS433". *Astrophysics and Space Physics Reviews*, 2004. - v.12, p. 1-152
2. Koning A.J., Rochman D. "Modern Nuclear Data Evaluation with the TALYS Code System". *Nuclear Data Sheets*, 2012. - v. 113, p. 2841-2934