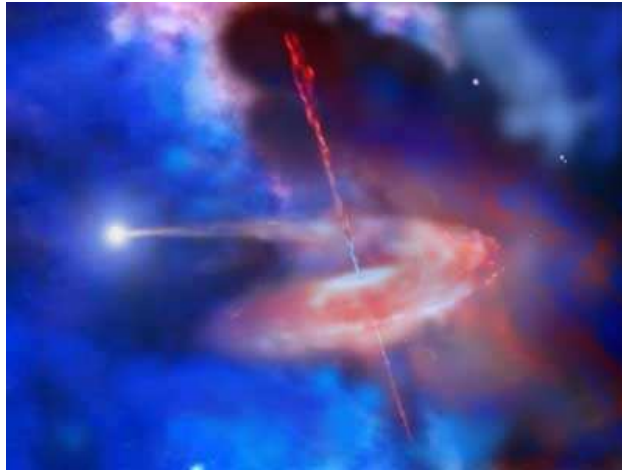


Д.С.Горбунов, С.В. Троицкий Ускорители во Вселенной

(Тел. служебный: 499-135-2169, E-mail: st@ms2.inr.ac.ru, gorby@ms2.inr.ac.ru)



Аннотация

Одним из возможных астрофизических источников космических лучей являются сверхмассивные чёрные дыры. Такой объект с массой более 10^6 солнечных масс обнаружен в центре нашей Галактики. Ещё более крупные чёрные дыры располагаются в центрах активных галактик. Считается, что большинство таких объектов быстро вращаются. В такой ситуации, в присутствии внешнего магнитного поля, вдоль оси вращения индуцируется мощное электрическое поле, которое и ускоряет заряженные частицы, попадающие из аккреционного диска в область оси чёрной дыры.

Это один из механизмов ускорения, предложенный на основе имеющихся точных решений для идеализированного случая: внешнее поле, отсутствие материи и т.д. В то же время, имеются наблюдения согласующиеся с тем, что в некоторых объектах временами реализуются условия, довольно близкие к идеальным. Реалистичная задача требует численного моделирования процессов и здесь не обсуждается.

Направление электрического поля зависит от ориентации магнитного относительно оси вращения. Максимальное электрическое поле получается, если вектора коллинеарны:

сонаправлены — в обе стороны вдоль оси вылетают ускоренные отрицательные заряды — электроны;

противонаправлены — в обе стороны вдоль оси вылетают ускоренные положительные заряды — протоны (и ядра).

Второй случай представляет несомненный интерес. Действительно, именно протоны и ядра образуют основную компоненту космических лучей высоких и сверхвысоких

энергий. Кроме того, в рассеяниях высокоэнергичных протонов могут образовываться нейтрино. Это слабо взаимодействующие частицы, поэтому они свободно распространяются по всей Вселенной. Поиск “космических нейтрино” интенсивно ведётся на так называемых нейтринных телескопах. Крупнейшие из них: в северном полушарии — Байкальский глубоководный эксперимент (<http://baikalweb.jinr.ru/>), в южном полушарии — антарктический ледовый эксперимент (<http://iccube.wisc.edu/>). Поскольку нейтрино не взаимодействуют, то направление их прихода будут указывать на источник, то есть на мощный астрофизический ускоритель протонов. Уверенное представление о том, каковы эти источники, поможет не только в этих поисках, но и в исследовании свойств межгалактической среды, и даже в поисках новых явлений за рамками Стандартной модели физики частиц.

Собственно, главная задача состоит в том, чтобы предложить астрономические наблюдения, выполнение которых позволило бы определить взаимную ориентацию оси вращения чёрной дыры и локального магнитного поля.

Указание 1: Один из способов определения оси вращения — мониторинг эволюции объекта. В результате мониторинга эволюции крабовидной туманности хорошо видно вращение облаков вещества вблизи центра (см. например <http://chandra.harvard.edu/photo/2002/0052/index.html>). Отметим, что сегодня нет оснований ожидать в центре туманности чёрную дыру. Тем не менее этот пример показывает, что современное разрешение приборов позволяет определять направления вращения некоторых астрофизических объектов.

Указание 2: Информацию о локальных магнитных полях можно получить, например, из анализа данных о Фарадеевском вращении плоскости поляризации света, прошедшего через область с магнитным полем.

Задания:

1. **Поиск инструмента исследования.** Предложить наиболее перспективные астрономические наблюдения, позволяющие получить информацию о взаимной ориентации оси вращения и локального магнитного поля.

2. **Анализ имеющихся данных.**

Проанализировать имеющиеся астрономические данные по наблюдениям за (потенциальными сверхмассивными) чёрными дырами на предмет получения информации о взаимной ориентации оси вращения и локального магнитного поля.

3. **Получение предсказаний для нейтринных телескопов.** Если в результате работы над пунктом 2 получены положительные результаты, то представить каталог потенциальных астрофизических ускорителей протонов. Сделать предсказания нейтринного сигнала от этих источников для нейтринных экспериментов, упомянутых в аннотации.

4. Постановка задачи для необходимых астрономических наблюдений. Если в результате работы над пунктом 2 оказалось, что соответствующих данных нет, сформулировать задачи для существующих и планируемых астрономических экспериментов (“телескопов” в широком смысле этого слова) с указанием необходимой программы исследований, требуемой точности и экспозиции.

Отметим, что исследование окрестностей массивных чёрных дыр является одним из приоритетных направлений астрономических экспериментов следующего поколения.