

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА**

**СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.023.01**

10 ноября 2017 года

*Защита диссертации
Лисакова Михаила Михайловича
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия)
«Исследование вспышечной активности квазара 3С 273 на наземных
и космических телескопах»*

Присутствовали члены диссертационного совета:

1. Кардашев Н.С., академик, 01.03.02, физ.-мат. науки, председатель
2. Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки, ученый секретарь
3. Бочкарев Н.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
4. Бурдюжа В.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
5. Дорошкевич А.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
6. Иванов П.Б., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
7. Каленский С.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
8. Ковалев Ю.Ю., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 01.03.02, техн. науки
9. Ларионов М.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. Науки
10. Лукаш В.Н., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
11. Малофеев В.М., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
12. Новиков Д.И., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
13. Попов М.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
14. Рудницкий Г.М., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
15. Чашей И.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
16. Шишов В.И., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
17. Щекинов Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

Председательствующим на данном заседании является доктор физико-математических наук, академик РАН, председатель диссертационного совета Н.С. Кардашев.

Секретарь заседания – ученый секретарь диссертационного совета, доктор физико-математических наук Ю.А. Ковалев.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Начинаем второе заседание нашего совета. Защита Лисаковым Михаилом Михайловичем диссертации “Исследование вспышечной активности квазара 3С 273 на наземных и космических телескопах”. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Работа в высокой степени выполнена совместно с проектом РадиоАстрон. Пожалуйста, Юрий Андреевич, информация по документам.

СЕКРЕТАРЬ: (зачитывает выдержки из поданных документов и сообщает об их соответствии установленным требованиям).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Переходим к докладу соискателя. Пожалуйста, Михаил Михайлович.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

СОИСКАТЕЛЬ (выступает с докладом. В докладе демонстрирует и комментирует слайды 1-23, номера которых даны в начале соответствующих строк ниже. Слайды приведены в Приложении к стенограмме, а также приложены к Аттестационному делу в бумажном и элеткронной формах).

Слайд 1: Название диссертации.

Слайд 2: Я буду рассказывать про исследования вспышечной активности квазара 3С 273 на наземных и космических телескопах. Эта работа была выполнена под научным руководством Юрия Юрьевича Ковалёва.

Считается, что в радиодиапазоне в струях квазаров излучают релятивистские электроны, которые двигаются в магнитном поле. А высокоэнергичное излучение может появляться за счёт обратного комптоновского рассеяния низкоэнергичных фотонов на этих электронах. Однако остаётся под вопросом, какие фотоны рассеиваются. Это могут быть или фотоны из внешних источников, или фотоны, генерируемые в самой струе. Однако мы не можем использовать суперразрешение интерферометров, чтобы заглянуть непосредственно в самое основание струи из-за непрозрачности вещества. И самое лучшее, что нам доступно, – это видимое начало струи. Однако до сих пор существуют споры насчёт природы этой области. Либо это какое-то физическое образование, вроде стоячей ударной волны, либо область, где происходит просветление вещества струи. Модель релятивистских струй с излучением релятивистских электронов предсказывает наличие верхнего предела на яркостную температуру излучающего вещества. Наземные интерферометры чувствительны к яркостным температурам в несколько единиц на 10 в 12 степени Кельвин, что близко к пределу из-за сильных комптоновских потерь (так называемая «комптоновская катастрофа»: резкое уменьшение яркости излучения при превышении этого предела). Из-за ограниченности размеров Земли мы не можем проверить наше предположение о механизмах излучения в релятивистских струях. Однако так ли это при взгляде из космоса и правильно ли наше понимание механизмов излучения струй? Такие задачи были поставлены и решены в данной диссертационной работе.

Слайд 3: здесь приведено содержание работы и свой доклад я также построил по главам диссертации.

Слайд 4: глава первая посвящена наблюдательным данным. Мы использовали данные космической обсерватории Ферми в гамма диапазоне, наблюдения на РСДБ решётке VLBA на длинах волн от 7 мм до 6 см, а также данные наземно-космического интерферометра РадиоАстрон в диапазонах 1.35, 6 и 18 см совместно с самыми крупными наземными телескопами.

Слайд 5: Поскольку данные наземно-космического интерферометра составляют большую часть этой работы, а также потому, что я с самого начала был вовлечён в процесс поддержки космического радиотелескопа, я пару слов скажу о результатах, которые были получены в этой области. Уже в первые месяцы после запуска было обнаружено, что максимум диаграммы направленности КРТ на 2.5 угловых минуты отклоняется от предсказанного значения. То есть мы, наводясь на источник, несколько промахиваемся на самой короткой длине волны при полуширине диаграммы направленности в 6 угловых минут. Это систематическое отклонение было скорректировано. В результате уже на первоначальном этапе юстировочных работ в диапазоне 1.35 см чувствительность КРТ по сравнению с первыми измерениями возросла почти в 2 раза, а чувствительность интерферометра, соответственно, повысилась в корень квадратный из двух раз. Кроме того было показано, что точность сопровождения источника на наших типичных часовых наблюдениях составляет лучше 2 секунд дуги, что на порядок лучше требований технического задания.

Слайд 6: Вторая глава посвящена локализации области гамма-излучения в парсековой структуре струи 3C 273. Обычно рассматриваются 2 сценария происхождения гамма-излучения. Либо гамма-излучение может исходить из области вблизи основания струи, где много внешних фотонов из аккреционного диска, тора, области широких эмиссионных линий, либо гамма-излучение может генерироваться где-то сильно ниже по течению струи, где гораздо меньше низкоэнергичных фотонов и остаются только синхротронные фотоны струи и фотоны реликтового излучения. Мы использовали данные космической обсерватории ФЕРМИ, синим цветом показана кривая блеска. Плюс многочастотные наблюдения, 4 наблюдения в течение 5 месяцев, которые покрыли период активности в гамма-диапазоне. А также мы использовали данные мониторинга на VLBA для длины волны 7 мм, которые покрыли период в 4 года.

Слайд 7: типичный вид структуры струи на длине волны 7 мм выглядит так: видимое начало струи (оно в левом верхнем углу) и отдельные уярчения, которые с течением времени двигаются вправо вниз. Раз мы хотим проверить, нет ли связи между активностью в гамма-диапазоне и изменениями параметров структуры струи в протяжённой области, мы описали протяжённую структуру в виде набора круглых гауссовых деталей и проследили за эволюцией их параметров. Никакой связи между вспышками в деталях в протяжённой структуре и вспышками в гамма-диапазоне обнаружено не было. Поскольку у нас был длительный ряд наблюдений, мы измерили скорости отдельных деталей и также не обнаружили никаких, например, супербыстрых компонент. Типичные кажущиеся скорости видимого движения оказались на уровне 8 скоростей света. Кроме движущихся компонент мы обнаружили также 2 неподвижные, так называемые стационарные компоненты, которые могут быть, например, стоячими ударными волнами. Поскольку у нас оказалось целых 3 неподвижных точки, и в них происходили вспышки, мы оценили скорость движения вещества по последовательным вспышкам в этих неподвижных компонентах. Оказалось, что она чуть выше, чем измеряемая по движущимся компонентам, но всё равно не супербольшая. После измерения скорости мы проверили, не связана ли активность в гамма диапазоне с прохождением движущихся компонент через неподвижные. Оказалось, что также никакой связи не обнаруживается.

Слайд 9: Тогда мы исследовали видимое начало струи. Мы провели кросс-корреляцию кривых в гамма-диапазоне и кривой блеска видимого начала струи на 7 мм, получили задержку около 110 дней и пересчитали её в расстояние от области гамма-излучения до видимого начала струи на 7 мм. Оно оказалось около 6.5 пк. Известно, что в релятивистских струях существует эффект сдвига видимого начала струи с частотой: чем ниже частота, тем ниже по течению струи находится её видимое начало. Мы провели этот анализ и вычислили расстояние между основанием струи и её видимым началом на частоте 43 ГГц. Сначала нас

удивило несовпадение между этими значениями, однако, проведя подробный анализ кинематики, мы обнаружили, что две области в структуре струи двигаются согласованно. Они никак не могут быть причинно связаны, поскольку находятся на расстоянии около 50 пк друг от друга, поэтому мы отнесли согласованность их движения к движению видимого начала струи. Это было впервые обнаружено без использования астрометрических методов. Ядро на частоте 43 ГГц смещается примерно на 4.5 пк вдоль струи во время вспышки. Чем выше плотность потока, тем ниже по течению струи оно находится. Это позволило нам согласовать другие измерения расстояний и утверждать, что область гамма-излучения в объекте 3C 273 находится вблизи истинного начала струи.

Слайд 10: основные выводы по второй главе. Область гамма-излучения 3C 273 локализована вблизи основания струи на расстоянии **2 – 7 пк** выше по течению от видимого начала на частоте 43 ГГц. Обнаружено смещение положения видимого начала струи на длине волны 7 мм во время вспышки в радиодиапазоне. По кривым блеска измерена скорость движения вещества струи вблизи видимого начала, которая оказалась в 1.5 раза выше, чем оценивается по кинематике компонент.

Слайд 11: Третья глава посвящена яркостным температурам и субструктуре рефракционного рассеяния. Любому излучающему телу в радиодиапазоне можно приписать яркостную температуру по формуле Рэлея-Джинса. Для релятивистских струй существует характерное значение, которое должно устанавливаться при равномерном распределении между плотностями энергии частиц и магнитного поля. Кроме того, существует предельное значение, связанное с катастрофически быстрыми потерями электронами энергии на обратное комптоновское рассеяние. Вот эти 2 величины вычислены в системе отсчёта плазмы. Наблюдаемые значения яркостной температуры могут быть выше за счёт релятивистского усиления. Однако типичные значения доплер-фактора – порядка 10. Очень важно проверить, соблюдается ли реально это предел, чтобы сказать, какие механизмы излучения существуют в релятивистских струях и правильно ли мы считаем, что, в основном, излучают релятивистские электроны. Кроме того, техника РСДБ позволяет проводить прямые измерения, получая размеры излучающей области и её плотность потока. Однако для интерферометра чувствительность к яркостной температуре обусловлена его базой, выраженной в километрах. Именно поэтому важно переходить от наземных наблюдений к наземно-космическим.

Слайд 12: что мы и сделали. Мы провели серию наблюдений 3C 273 с помощью интерферометра РадиоАстрон совместно с крупнейшими телескопами на Земле на длинах волн 1.35, 6 и 18 см и получили детектирование лепестка на базах вплоть до 170 000 км.

Слайд 13: мы оценили яркостную температуру используя модель круглого гауссова источника. Для всех наблюдений, для всех диапазонов яркостная температура получилась выше, чем 10 в 13 степени градусов Кельвина. При этом такие экстремально высокие яркостные температуры держались в 3C 273 дольше 1 месяца. Как же можно это объяснить? Возможно, в это время существовали какие-то вспышки? Однако, это не так. Ни в гамма, ни на 7 мм вспышек нет.

Слайд 14: Как можно поддерживать столь высокие яркостные температуры? Возможно релятивистское усиление выше, чем мы считали? Однако по нашим измерениям скорости это не подтверждается. Кроме того, по наземным данным диапазон изменения яркостных температур составляет от 10 в 10 степени до 10 в 13 степени градусов Кельвина. Такой огромный диапазон сложно объяснить изменением релятивистского усиления. Возможен непрерывный вброс высокоэнергичных частиц в струю или их реускорение. Однако поскольку мы наблюдаем на длинах волн 6 и 18 см, продетектированные области

лежат на расстоянии несколько десятков парсек от основания струи и довольно сложно реализовать этот сценарий на таких расстояниях. Кроме того, не наблюдается высокий уровень гамма-излучения, который предсказывается для данного сценария, хотя возможно, что энергии электронов не хватает, чтобы добрасывать фотоны до гамма-диапазона, а хватает только до рентгеновского. Но это надо проверить в будущих наблюдениях с космическими рентгеновскими аппаратами. Возможно излучение релятивистских протонов на расстоянии несколько десятков парсек от начала струи. Нет наблюдательных указаний на это. Мы, используя анализ сдвига видимого начала струи, оценили магнитное поле в видимом начале струи на частоте 43 ГГц. Оно оказалось меньше 0.1 Гс. Возможно, теория электрон-протонной плазмы позволит согласовать эти значения с наблюдаемыми. Пока однозначного решения этой проблемы нет, хотя есть несколько достойных вариантов.

Слайд 15: излучение любого источника проходит через межзвездную среду. Раньше считалось, что для квазаров влияние рассеяния на межзвездной среде выглядит так: размеры источника увеличиваются и может наблюдаться переменность плотности потока излучения. В наблюдениях с РадиоАстроном по точечным объектам — по пульсарам — было обнаружено, что рассеяние ведет себя более сложным образом и есть тонкая структура рассеянного изображения, то есть на нем появляются компактные и очень яркие детали. Мы не ожидали такого поведения для разрешенных источников, для квазаров, но мы всё равно проверили, насколько хорошо описываются данные наших измерений с помощью более сложной модели — не просто гауссова источника, а гауссова источника плюс вклада рефракционного шума от рассеяния.

Слайд 16: Оказалось, что на длине волны 1.35 и 6 см наши наблюдательные данные с РадиоАстроном хорошо описываются с помощью только излучения гауссова источника, его истинного излучения, а вот на длине волны 18 см наилучшим образом данные описываются в модели, которая содержит и вклад источника, и вклад рефракционного шума. Таким образом, если действительно в направлении на ЗС 273 есть рассеяние, это может быть первым обнаружением субструктуры рефракционного рассеяния для внегалактического источника, для квазара. Это несколько понижает наши оценки яркостной температуры, однако они всё равно остаются экстремально большими, и это не меняет нашего вывода о нарушении предела на комптоновскую катастрофу.

Слайд 17: Итак, выводы по третьей главе. Обнаружено нарушение предела комптоновской катастрофы в течение, по крайней мере, нескольких месяцев (яркостная температура поддерживалась на уровне выше 10^{13} К). Требуется объяснение, выходящее за рамки современного представления о физике струй. Возможны излучение релятивистских протонов и более экзотические процессы. В наблюдениях на 18 см с РадиоАстроном обнаружена субструктура рефракционного рассеяния. Это было сделано впервые для внегалактического источника. Вклад субструктуры рассеяния не может объяснить экстремальные яркостные температуры на длинах волн 6 и 1.35 см. Мы оценили магнитное поле порядка $B \leq 0.1$ Гс в видимом ядре на длине волны 7 мм на расстоянии несколько парсек от основания струи.

Слайд 18: поскольку у нас в руках были многочастотные данные для нескольких эпох, мы изучили спектральные характеристики ЗС 273. Во-первых, видимое начало струи показывает спектральное поведение во время вспышки, — такое, как и ожидается на частотах 43-24 ГГц: спектральный индекс видимого начала струи растёт от 0 до 1.5. На более низких частотах 15-24 ГГц этот индекс также растёт, а на ещё более низких частотах никак не связан со вспышками в видимом начале струи. Поскольку струя достаточно длинная на низких частотах, мы смогли оценить темп спадания спектрального индекса с расстоянием вдоль струи на двух парах частот 15-8 и 8-5 ГГц. Оказалось, что темп спадания значимо не

отличается, из чего мы делаем вывод, что на больших расстояниях порядка 10 мсек дуги на этих частотах доминируют адиабатические потери.

Слайд 19: Мы подробно изучили переход от оптически толстой к оптически тонкой области в видимом начале струи. Поскольку карты представляют собой свёртки изображения истинного распределения спектрального индекса с диаграммой направленности, то все переходы, конечно, плавные. Мы подгоняли 2 разных модели: модель с резким истинным изменением спектрального индекса вдоль среза и с плавным линейным изменением. На всех частотах, а мы это делали на частотах 43-24 и 15-8 ГГц, мы обнаружили, что модель с плавным изменением спектрального индекса – с плавным просветлением – описывает данные лучше. Во всех случаях. Таким образом, мы смогли измерить, на каком расстоянии происходит просветление струи, и на высоких частотах получили 7 парсек вдоль струи.

Слайд 20: Итак, по 4 главе выводы такие. Мы обнаружили изменение спектрального индекса в видимом начале струи. Поведение спектрального индекса разное на разных частотах. Кроме того, на частотах 15–8 ГГц и 8–5 ГГц измерен одинаковый темп спадания спектрального индекса с расстоянием вдоль струи порядка 0.001 за каждый парсек. То, что темп спадания одинаковый, говорит о доминировании адиабатических потерь в протяженной части струи. Впервые измерена протяженность области просветления вещества струи вблизи ее видимого начала.

Слайд 21: Положения, выносимые на защиту.

Область гамма излучения локализована вблизи истинного начала струи, на расстоянии 2–7 пк выше по течению, чем видимое начало струи на длине волны 7 мм. Гамма-излучение наиболее вероятно объясняется обратным комптоновским рассеянием фотонов из внешних источников.

Обнаружено нарушение предела комптоновской катастрофы в течение, по крайней мере, нескольких месяцев. Это требует объяснение, выходящее за рамки современного представления о физике струй. Возможны излучение релятивистских протонов.

В наблюдениях на 18 см с РадиоАстроном обнаружена субструктура рефракционного рассеяния – впервые для внегалактического источника.

Мы оценили магнитное поле на уровне $B \leq 0.1$ Гс в ядре на длине волны 7мм на расстоянии несколько парсек от истинного начала струи. При этом ядро смещается вниз по струе на 4.5 пк, следуя за увеличивающейся плотностью частиц.

Наблюдательные данные свидетельствуют в пользу плавного просветления вещества струи на протяжении 7 пк на частотах 43-24 ГГц.

В протяженной структуре струи на частотах 15-8 и 8-5 ГГц доминируют адиабатические потери.

Скорость течения плазмы, измеренная по вспышкам в неподвижных деталях, выше, чем скорость, измеренная по движению компонент струи. Это может приводить к недооценке релятивистского усиления в 1.5 раза при измерениях, основанных на кинематике РСДБ компонент.

Это были основные положения.

Слайд 22: здесь приведены основные публикации по теме диссертации, все 6 публикаций.

Слайд 23: Спасибо.

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Вопросы? Пожалуйста.

П.Б. ИВАНОВ: У меня на самом деле 2 вопроса. Первый вопрос. Вот вы когда искали корреляцию между радио и гамма, не искали ли Вы там коррекцию между гамма, радио и другими диапазонами, ультрафиолетом и рентген-диапазонами?

СОИСКАТЕЛЬ: Рентгеновских данных немного. Вообще мы не исследовали другие диапазоны.

П.Б. ИВАНОВ: Второй подвопрос: не смотрели ли Вы в таком же смысле на другие квазары? Почему именно этот квазар понравился?

СОИСКАТЕЛЬ: спасибо. Естественно, исследование корреляции между радио и гамма диапазонами проводились по выборке квазаров. Однако исследования, которые проводились другими группами по индивидуальным квазарам зачастую давали результаты, которые противоречат этой картине. То есть очень часто при исследовании индивидуальных квазаров получалось, что область гамма излучения локализуется в нескольких десятках парсек ниже, чем видимое начало струи. И 3C 273 в этом смысле наилучший кандидат для подробного изучения, потому что, во-первых, по нему проводятся мониторинговые кампании, во-вторых, он близкий и яркий. Это и позволяет его изучать в таких подробностях. Например, смещение ядра во время вспышки для большинства квазаров невозможно будет обнаружить просто в силу их удаленности.

П.Б. ИВАНОВ: второй вопрос, видимо, связан с моим недопониманием. Мне всегда казалось, что спектральный индекс определяется распределением энергии электронов и оптической толщиной. Как эти характеристики связаны с адиабатичностью?

СОИСКАТЕЛЬ: Когда какая-то область летит вдоль струи и излучает, она должна расширяться. При этом, если существенны радиационные потери, темп спадания спектрального индекса на высоких частотах будет выше. Просто быстрее будет спадать спектральный индекс, потому происходит не только расширение этой области, но и потери на излучение. Но мы этого не обнаруживаем. Из этого мы и делаем вывод о доминировании адиабатических потерь.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: еще вопросы?

М.Г. ЛАРИОНОВ: а как связаны формулировки «истинное начало релятивистской струи» и «видимое начало на длине волны 7 мм»?

СОИСКАТЕЛЬ: обычно под истинным началом подразумевается область, где скорость вещества превышает скорость звука.

М.Г. ЛАРИОНОВ: Превышает что?

СОИСКАТЕЛЬ: превышает скорость звука. Становится сверхзвуковой. Это происходит где-то в окрестностях черной дыры. Несколько десятков шварцшильдовских радиусов. Но

вещество в этой области непрозрачно для радиоизлучения. Мы его попросту не видим. Начинаем мы видеть струю с той области, где, за счет того, что вещество, пока движется вдоль струи, расширяется, плотность его падает и вещество просветляется. Вот с того момента, как оптическая толща становится порядка 1 мп и начинаем видеть излучение релятивистской струи в радиодиапазоне. Это и называется видимым началом струи. То, что обычно называют «РСДБ-ядро».

М.Г. ЛАРИОНОВ: А расстояние какое?

СОИСКАТЕЛЬ: Расстояние от 2 до 7 парсек. У нас 4 эпохи наблюдений, видимое начало смещается, поэтому это не ошибки такие большие, а просто диапазон изменения.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: еще вопросы?

СЕКРЕТАРЬ: Михаил Григорьевич мой вопрос задал, поэтому я задам уточнение по этому вопросу. Правильно ли я понял, что под началом струи в диссертации принята наблюдаемая точка, если ее можно определить, самого высокочастотного излучения, то есть 40 ГГц? Потому что ведь можно говорить сколько угодно раз про начало струи, но мы же говорим о привязке к объекту наблюдений. Если бы не было 40 ГГц, вы бы говорили про 22 ГГц, наверное..

Соискатель: да. Собственно говоря, чем выше частота, тем глубже мы можем заглянуть в струю. То что называется видимое начало струи, здесь обозначено как ядро, расположенное в самом начале. Однако истинное основание струи нам не видимо. Оно находится ещё выше по течению.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: так, еще вопросы, пожалуйста.

Ю.А. ЩЕКИНОВ: еще один вопрос. Я не очень понял, когда Вы переходите, то показываете три наблюдения 18, 6 и 1 см. На 18 см вы видите субструктуру на пятне. А когда Вы переходите на меньшие длины, там рассеяние должно быть слабее, вся структура теряется. Так я понимаю, или нет?

СОИСКАТЕЛЬ: Потому что рассеяние слабее.

Ю.А. ЩЕКИНОВ: То есть это следствие того, что эти короткие длины волн просто не замечают структуру?

СОИСКАТЕЛЬ: Да, вроде того. Они слабее рассеиваются.

Ю.А. ЩЕКИНОВ: Отсюда вы можете измерить плотность электронов?

СОИСКАТЕЛЬ: в этой работе мы брали плотность электронов из модели NE2001 в направлении 3С 273. Для того, чтобы что-то сказать про плотность электронов и про показатель степени их спада по размерам неоднородностей, необходимо измерять как коррелированная плотность потока изменяется с увеличением базы. Причем это желательно делать квазисовременно. Мы как раз на период АО-5 подали такую заявку для двух источников, будем проверять, как зависит их коррелированная плотность потока от расстояния. То есть в рамках данной работы это невозможно сделать, но мы дальше двигаемся, пытаемся ответить на этот вопрос.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: поляризационные исследования Вы как-то привлекали?

СОИСКАТЕЛЬ: вообще все эти РСДБ-наблюдения были проведены в полной поляризации, однако в эту работу данные по поляризации не вошли. Мы сейчас готовим статью с очень интересными результатами и измерениями фарадеевского вращения, которое там сильно меняется. Но сюда эти результаты не вошли.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: то есть контрджет у Вас тоже не участвует?

СОИСКАТЕЛЬ: нет.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: так, еще вопросы, пожалуйста. Если нет, тогда слово научному руководителю.

ОТЗЫВЫ

Ю.Ю. КОВАЛЁВ (научный руководитель; выступает, отзыв прилагывается).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Юрий Андреевич, слово вам.

СЕКРЕТАРЬ: Зачитывает отзыв организации, где выполнена работа (ФИАН), и отзыв ведущей организации (МГУ, ГАИШ). Оба отзыва положительные. Другие отзывы не поступили.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Переходим к официальным оппонентам. Официальный оппонент Ларионов Валерий Михайлович.

СЕКРЕТАРЬ: оппонент отсутствует по уважительной причине (зачитывает отзыв оппонента., отзыв положительный, прилагается).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Следующий оппонент Верховданов Олег Васильевич. Пожалуйста.

О.В. ВЕРХОДАНОВ (ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ): выступает, отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Пожалуйста, ответы на все замечания.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ОТЗЫВЫ ОФИЦИАЛЬНЫХ ОППОНЕНТОВ И ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

СОИСКАТЕЛЬ: Я очень благодарен ведущей организации и оппонентам за отзывы. Я дам ответы в том же порядке. Мне было очень приятно выступить с докладом в ГАИШ МГУ, где я учился. Я очень благодарен коллегам за внимание и интересные вопросы. Замечаний там не было, поэтому я со всем согласен.

По Отзыву оппонента Ларионова Валерия Михайловича.

Спектральное поведение вспышек в разных поддиапазонах приёмника телескопа LAT обсуждалось в статье Abdo+ 2010, где указано на схожий характер вспышек в диапазонах до 0.4 ГэВ и выше 0.4 ГэВ. В то же время вспышки в ЗС 273 довольно короткие, а временное

разрешение, которое позволяет накапливать достаточное количество фотонов, недостаточно для того, чтобы углубляться в подобный анализ разных временных характеристик вспышек в поддиапазонах. То, о чём Валерий Михайлович пишет насчёт разных ссылок: в обеих работах, на которые я ссылаюсь в оригинальной статье и в диссертации, содержится описание моделирования структуры струи ЗС 273. Можно согласиться с этим замечанием оппонента.

По отзыву Олега Васильевича Верходанова.

Я благодарен за подробное, тщательное и полное прочтение диссертации. Спасибо, что обратили внимание на фразу про «2 миллиарда лет» – это была, в основном, шутка. Опечатки, описки и грамматические ошибки, к сожалению, в диссертации встречаются. Запятые в п.5 на сс. 70-71 расставлены согласно правилам пунктуации, хотя соглашусь, что предложение читается нелегко, ввиду большого количества уточнений, обособленных запятыми, аналогично тому, как это сделано в предложении, которое я вам только что зачитал.

Формула на стр. 69 выведена мною. Числовой множитель получается из параметров, описанных абзацем ранее. Естественно, возникшее недопонимание является следствием недостаточно подробного описания.

Источник формулы на стр. 63 приведен в следующем предложении после формулы.

Стр. 77: имеется в виду двумерное гауссовое распределение на комплексной плоскости.

Стр. 83: Приведенные изображения – это результат соавтора, что указано в подписи к рисунку. Насколько мне известно, программа для симуляции написана им лично и используется для моделирования в ряде работ.

Стр. 102: рисунок 4.6 не опубликован и его результат не вынесен на защиту, что указано в подписи. Технические подробности этого этапа я мог бы рассказать отдельно.

ДИСКУССИЯ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: открываем дискуссию.

СЕКРЕТАРЬ: Мне кажется, фраза насчёт « $B < 0.1$ в основании» очень неудачная, потому что < 0.1 Гс — кажется слишком слабым магнитным полем, что, вероятно, приведет к тому, что плотность кинетической энергии излучающих частиц будет много больше, чем плотность магнитного поля. Тогда модель источника вряд ли будет работать, как надо. И струя не будет существовать. Я об этом уже говорил ранее..

В.И. ШИШОВ: но струя может существовать и без магнитного поля.

СЕКРЕТАРЬ: Может существовать, но не сможет излучать синхротронным механизмом. Мы же говорим сейчас об излучении.

СОИСКАТЕЛЬ: мы обнаружили высокие яркостные температуры в этой области. В связи с этим, поскольку эти яркостные температуры оказываются выше характерного значения для равномерного распределения, мы делаем вывод о доминировании плотности энергии частиц над плотностью энергии магнитного поля.

СЕКРЕТАРЬ: но этот вывод, насколько я понимаю, противоречит тому, что это струя, излучающая синхротронным механизмом. Тогда нужно показать, что струя продолжает существовать, несмотря на то что плотность энергии частиц больше, чем плотность энергии магнитного поля.

СОИСКАТЕЛЬ: ну, струю мы видим..

П.Б. ИВАНОВ: может! Вещество струи движется со сверхзвуковой скоростью.

Ю.Ю. КОВАЛЁВ: Раз у нас дискуссия, я прокомментирую. Юрий Андреевич, Ваше утверждение ошибочное. Нет никакого требования для струи, как только что сказал Павел, чтобы плотность энергии магнитного поля обязательно превышала плотность энергии частиц. Более того, массовые результаты обзора активных ядер галактик в проекте РадиоАстрон показали, что для громадного количества квазаров, ну как минимум, половины нашей выборки, а у нас, извините, выборка две сотни штук, яркостная температура, мы уже за пределами диссертации, но было же утверждение глобальное сказано, превышает значение равномерного распределения. Только что это сказал Миша про ЗС 273, я это распространяю сейчас по результатам РадиоАстрона на значительно большее количество квазаров. Это однозначно говорит о том, что те области, которые мы видим на сантиметровых длинах волн, которые находятся далеко от центральной машины из-за синхротронного самопоглощения, на расстоянии десятки парсек, вот для этих областей характерна ситуация, когда плотность энергии частиц значительно больше. И для этих областей, действительно, величина магнитного поля оценивается в ряде работ на сравнимых уровнях. Завершу это следующим комментарием: сейчас начинает идти серия статей по близким объектам, типа М87, типа Cygnus A, на коротких длинах волн, на 3 мм, например. И эти объекты — разрешение высокое, длина волны маленькая — видно близко к центральной машине, и там видно, что близко к центральной машине, и по яркостным температурам это видно, плотность энергии магнитного поля превышает плотность энергии релятивистских частиц. Но те области, которые мы видим на РадиоАстроне на сантиметровых длинах волн, там ситуация обратная, совершенно, как нам и рассказывал сегодня диссертант.

СЕКРЕТАРЬ: Так как сейчас дискуссия, то я выйду и покажу. Я уже делаю это второй раз в этом зале. Первый был пару лет назад. Но я повторюсь. Вот струя, вот магнитное поле (рисует на доске). Вот здесь скорость. Если плотность магнитного поля, B в квадрате (B^2), деленное на 8π много больше, чем ρ_0 , умноженное на c в квадрате (c^2), то эта картинка существует и струя работает, синхротронно излучает. Здесь B — магнитное поле, ρ_0 — плотность излучающих частиц, а c — скорость света. Если у вас противоположное условие, то частица «тащит» за собой магнитное поле, в т.ч. хаотизируя его, и еще большой вопрос, будет ли при этом гидродинамическая струя излучать синхротронным механизмом. Конечно, это качественные рассуждения. Никто модель четкую не рассматривает, а указанное простое условие приводит к противоречию с тем, что получается струя, излучающая синхротронным механизмом.

Ю.Ю. КОВАЛЁВ: Это неправильное утверждение. Магнитное поле в основании струи как раз и работает на коллимацию джета, на его формирование. Это происходит в той области, которая нам не видна.

СЕКРЕТАРЬ: Это гидродинамическая струя. Она не излучает синхротронным механизмом.

М.Г. ЛАРИОНОВ: тогда должно быть, наверное, избыточное внешнее давление.

Ю.Ю. КОВАЛЁВ: естественно. Обязательно.

СЕКРЕТАРЬ: тогда излучающие частицы не подчиняются винтовому движению вдоль магнитного поля, необходимому для генерации синхротронного излучения, так как поле слишком слабо.

П.Б. ИВАНОВ: известны чисто гидродинамические джеты. Вопрос о том, как там излучает — это вопрос другой. Если туда поле вложить, оно будет излучать. Если у вас даже нет среды, которая оказывает коллимирующее влияние, то если у вас движение вещества сверхзвуковое, угол раствора джета будет порядка 1 делить на число Маха. Если число Маха большое, у вас получится довольно узкий джет.

СЕКРЕТАРЬ: джет, может быть, и получится, но он излучать не будет.

П.Б. ИВАНОВ: будет.

М.Г. ЛАРИОНОВ: направленность излучения должна быть.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Коллеги, мы, по-моему, отклонились от темы

М.Г. ЛАРИОНОВ: направленности излучения не будет.

П.Б. ИВАНОВ: У меня объёмный гамма-фактор есть, который будет коллимировать излучение в глаз мне.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ): давайте вернёмся к защите. Есть ли что-то, что противоречит содержанию диссертации? Кто может это сказать?

СЕКРЕТАРЬ: Поле меньше чем 0.1 Гс — это, к сожалению, неудачная формулировка, если не ошибка в оценках. Потому что 0.1 Гс может противоречить существованию излучающего джета.

Ю.Ю. КОВАЛЁВ: нет! Это не противоречит существованию излучающего джета. Синхротронное излучение релятивистских электронов в магнитном поле на уровне 0.1 Гс конечно же работает, более того, подавляющее большинство на сегодняшний день вышедших статей, которые оценивают величину магнитного поля в районе видимого начала джета дают сравнимые цифры. Вы на самом деле дискутируете не только с данной диссертацией, но и с подавляющим большинством статей.

СЕКРЕТАРЬ: абсолютно верно.

Ю.Ю. КОВАЛЁВ: очень хорошо, на самом деле эта дискуссия касается не диссертации, а большинства опубликованных на эту тему статей. Ещё ни одна не вышла статья за Вашим авторством, которая бы говорила, что это неправильно.

В.И. ШИШОВ: поэтому оставим диссертацию в покое. Это эксперимент.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Коллеги, давайте по очереди

СЕКРЕТАРЬ: это не эксперимент, это интерпретация. Когда вы магнитное поле оцениваете из формул — вы интерпретируете, а не измеряете. Впрямую Вы магнитное поле не измеряете.

Ю.А. ЩЕКИНОВ: Юрий Андреевич, то что вы говорите, это ограничивает характерные времена. ДА, струя в этом случае может быть неустойчива, но всякая неустойчивость развивается на вполне определенных характерных временах. То, что они наблюдают — это вопрос интерпретации наблюдательных данных, а также вопрос того, на каких временах это происходит. И в данном случае они показывают просто результат наблюдений и интерпретации этих наблюдений. На самом деле этот вопрос, и это видно из дискуссии, неоднозначный, спорный и в нем много аспектов. Это можно продолжать очень долго и посвящать этому новые диссертации.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: конечно, мы много не знаем. Мы не знаем, какая плазма там есть, через которую магнитное поле это проходит. Взаимодействие плазмы и потока частиц не обсуждается. Поэтому получается такая оценка. Посмотрим, что будет в дальнейшем.

А.Г. ДОРОШКЕВИЧ: во всяком случае эти наблюдения ставят под сомнение старую оценку.

СЕКРЕТАРЬ: естественно, равномерное распределение не работает.

Ю.А. ЩЕКИНОВ: равномерное распределение не обязано работать. Оно устанавливается на каких-то временах или теряется на определенных временах. Это динамический процесс.

М.Г. ЛАРИОНОВ: в большинстве случаев не работает.

СЕКРЕТАРЬ: если равномерное распределение не работает, то это, тем более, не будет работать. Все. Прошу прощения, что спровоцировал своими словами столь бурное обсуждение, имеющее лишь косвенное отношение к диссертации.

В.И. ШИШОВ: эта дискуссия говорит о том, что результат актуален и нуждается в дальнейшем исследовании.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: да, как возникает данная ситуация — это надо изучать дальше.

А.Г. ДОРОШКЕВИЧ: давайте осознаем, что это количественная оценка, она может варьироваться.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: конечно, она может дальше уточняться. Нужны дальнейшие исследования со всех сторон. Есть ли желающие еще выступить?

П.Б. ИВАНОВ: тема интересная, действительно. Потому что здесь есть выход на теорию. Может быть, все эти затронутые темы имеет смысл обсуждать не на защите диссертации, а на семинарах.

В.И. ШИШОВ: проработка модели — этот вопрос для дальнейшей работы.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: кажется естественным, что магнитное поле в области ускорения частиц может быть сильным, потому что оно ускоряет частицы. Только в области ускорения. Дальше это магнитное поле имеет квазидипольный характер, поэтому сильнее убывает с расстоянием, чем поток частиц. В конце концов, плотность энергии свободно выбрасываемых частиц становится больше плотности энергии магнитного поля. В каком месте, в какой области — это и подлежит дальнейшему исследованию.

П.Б. ИВАНОВ: с моей точки зрения крайне интересно хотя бы проверить, справедливо ли простейшее двумерное представление. Например, если в одном источнике померить

магнитное поле, на миллиметровых длинах волн, например, где доминирует магнитное поле, и в этом же источнике измерить какую-нибудь далекую область, где доминируют частицы, можно составить некий интеграл и посмотреть, сохранится он, или нет. И по этому результату понять, справедливы ли модели джетов.

Ю.Ю. КОВАЛЁВ: Паша, не в рамках данной диссертации, даже не включая сегодняшнего соискателя, мы прямо этим сейчас с Василией Семёновичем Бескиным занимаемся. То, что ты рассказывал – это то, что у нас получается.

В.И. ШИШОВ: по экспериментальным данным струя упирается в ударную волну. Это возможно только при доминировании частиц. С магнитным полем просто так не получится.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: хорошо, есть ли желающие выступить ещё? Нет. Тогда заключительное слово диссертанта. Пожалуйста.

СОИСКАТЕЛЬ: в заключении я хотел бы выразить свою благодарность, во-первых, моему научному руководителю, который все эти годы был для меня и остаётся примером принципиальности и профессионализма в науке, всегда открыт для общения и вопросов и готов помочь и дать ответ. Юра, спасибо большое. Кроме того, хочу выразить благодарность Николаю Семёновичу Кардашёву за возможность работать в таком уникальном, интересном и, самое главное, успешном проекте как РадиоАстрон. Также я благодарен многим коллегам из Астрокосмического центра, к которым всегда можно было обратиться со своими вопросами и получить ответы доброжелательно, открыто и профессионально. Я, конечно, благодарен своей семье за огромную поддержку, без которой вся эта работа не могла бы состояться, не могла бы быть доведённой до конца. Спасибо моим родителям, и моей любимой супруге. Вот, собственно, и всё.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Предлагается счетная комиссия в таком составе: М.Г. Ларионов, В.М. Малофеев и И.В. Чашей. Голосуем. Кто ЗА? Есть ПРОТИВ, ВОЗДЕРЖАВШИЕСЯ? Нет – единогласно. Объявляется перерыв для проведения голосования.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ (после перерыва): Слово председателю счетной комиссии.

М.Г. ЛАРИОНОВ (ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СЧЕТНОЙ КОМИССИИ).

Зачитывает протокол счетной комиссии по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук Лисакову Михаилу Михайловичу.

Состав счетной комиссии: М.Г. Ларионов, И.В. Чашей, В.М. Малофеев

Состав совета: 21 чел.

Дополнительно введены – 0 человек.

Присутствовало на заседании по защите — 17 членов совета,

в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации — 17,

роздано бюллетеней — 17,

осталось нерозданных бюллетеней — 4,

оказалось в урне бюллетеней — 17,

по результатам голосования проголосовали:

«за» — 17,

«против» – 0,

недействительных бюллетеней — 0.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Есть предложение утвердить протокол счетной комиссии? Кто за? Кто против? Кто воздержался? Утверждаем единогласно. Поздравляем соискателя (аплодисменты). Переходим к обсуждению проекта заключения. *(Текст обсуждается и редактируется)*.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Замечания есть еще? Нет замечаний. Надо проголосовать. Кто за то, чтобы утвердить? Кто против? Нет против. Кто воздержался? Тоже нет. Принято единогласно. Еще раз поздравляем соискателя. Заседание окончено.

Председатель диссертационного совета,
доктор физ.-мат.наук, академик РАН

Н.С. Кардашев

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат.наук

Ю.А. Ковалев

10 ноября 2017 г.