

Отчёт о проведении третьей Летней Школы по Астрофизике 2024

Это стало хорошей традицией для наших лекторов проводить школу по актуальным вопросам современной астрофизики, а для студентов приезжать на неё в город Пущино, в Радиоастрономическую обсерваторию. В этом году мы поменяли даты проведения школы с конца августа на начало июля. Это связано с проведением Всероссийской астрономической конференции в последнюю неделю лета, куда поехала в качестве докладчиков большая часть лекторов. Такое смещение сроков проведения школы, конечно, отразилось на наших слушателях, так как они только что сдали сессию и сразу же попали в плотный график наших лекций и практических занятий.

В этом году мы получили 26 заявок на участие и выбирали 20 участников по процедуре, которую опробовали в прошлом году. Каждая заявка была оценена тремя случайными рефери по 10-бальной шкале и на основе полученных значений были отправлены приглашения 20 авторам заявок с самыми высокими баллами. География участников была представлена многими учебными заведениями страны: МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва), Самарский университет, УрФУ (Екатеринбург), МФТИ (Долгопрудный), СПбГУ (Санкт-Петербург), КФУ (Казань), ВШЭ (Москва), БФУ (Калининград).

По уже сложившейся традиции мы начинали школу с тематики активных галактических ядер. Это огромное и очень интересное направление современной астрофизики описывает всё великое многообразие физических процессов, протекающих рядом с аккрецирующими сверхмассивными чёрными дырами в центральных областях множества галактик. Несмотря на уже давнюю историю исследования активных ядер в этой науке остаётся большое количество “белых пятен” и сохраняется активный интерес со стороны научного сообщества. Кроме того многие космические обсерватории занимаются активным наблюдением за такими объектами. Поэтому первый день нашей школы мы посвящаем изучению активных ядер и релятивистским джетам.

«Моделирование джетов»

Зобнина Дарья:

По наблюдениям было обнаружено, что существует несколько типичных распределений направления линейной поляризации в релятивистской струе активного ядра галактики: направление поляризации может совпадать с осью струи, быть перпендикулярным ей или поворачиваться с параллельного оси на перпендикулярное при движении поперек оси к краям струи. Все эти распределения можно воспроизвести в рамках предположения о том, что струя пронизана спиральным магнитным полем. Студентам было предложено провести моделирование поляризации струи и подобрать такие параметры магнитного поля и плазмы, чтобы получившееся распределение направления поляризации было похоже на распределение из наблюдений. Таким образом, можно косвенно оценить физические

параметры, например, угол закрутки спирального поля, которые напрямую измерить не получается.

У студентов в основном получалось воспроизвести случаи, когда направление поляризации перпендикулярно струе или меняется с параллельного на перпендикулярное при движении к краям струи. Трудности возникали с распределением направления поляризации вдоль струи, поскольку в этом случае не только угол закрутки спирального поля должен быть большим, но и угол зрения струи в системе отсчета источника должен быть близок к 90 град. Эта задача показала важность моделирования как косвенного метода оценки параметров струи.

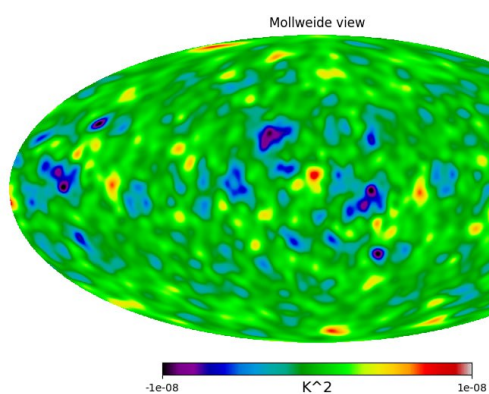
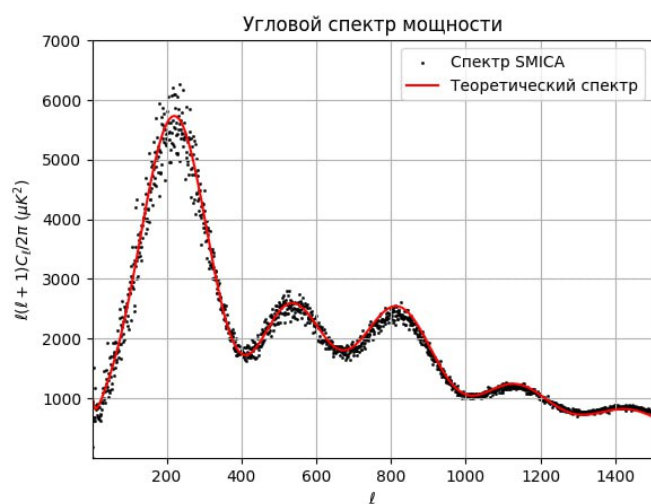
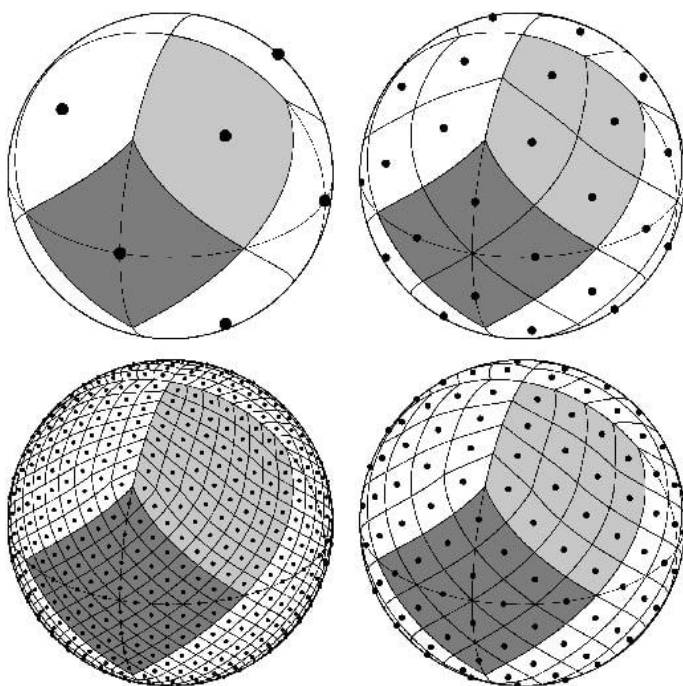
«Космология»

Михальченко Артём:

Следующей большой секцией занятий стала космология. Мы разделили её на две части: физика и анализ реликтового излучения – фонового микроволнового излучения, которое мы наблюдаем по всему небу и которое несёт информацию о самых ранних стадиях эволюции Вселенной. Реликтовые фотоны появились в эпоху рекомбинации водорода в момент времени 300 тысяч лет после Большого взрыва и несут в себе информацию о физических условиях, которые были в тот момент времени, когда первичный остывающий газ стал прозрачным для тепловых фотонов. Второй день школы полностью посвятили разделу космологии, который занимается физикой реликтового излучения. На лекции была дана необходимая для понимания практической части теория, а в ходе самой практики было предложено поработать с реальными данными эксперимента Планк при помощи программного пакета healpy. Учились строить карты анизотропии реликта, выделять из них спектр мощности и сравнивать его с теоретической моделью. Вторая часть практического занятия была посвящена методам фильтрации сигналов: сравнивали "слепой" метод внутренней линейной комбинации (ILC) с его "полуслепой" модификацией (cILC).

“В качестве небольшого экскурса обсудили и актуальные исследования в АКЦ по данной тематике - метод наименьшего отклика LRM. Ребята справились с заданиями очень хорошо и, что самое важное, быстро. Хоть вопросы и возникали, все они были по делу и обуславливались скорее сжатым в лекционный формат изложением. Работать с такими студентами очень интересно и увлекательно.”

Михальченко Артём



«Космография по сверхновым»

Бакланов Пётр:

Третий день школы был посвящён физике Сверхновых – катастрофических событий в эволюции массивных звёзд или звёзд в тесных двойных системах.

“В своих лекциях о сверхновых старался достичь двух целей.

Первая цель --- знакомство слушателей с базовыми знаниями физики сверхновых и механизмов энерговыделения, обеспечивающих их огромную светимость.

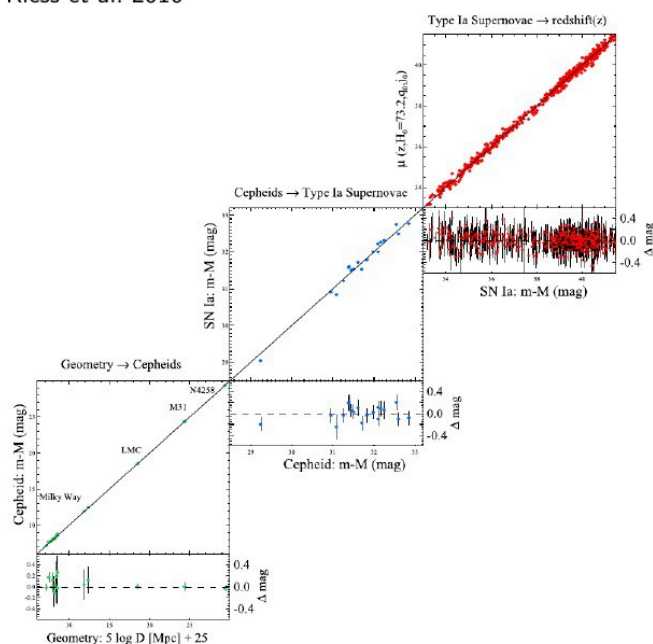
Вторая цель --- представление ряда методов по измерению расстояний до сверхновых разных типов, что крайне важно для космологии в силу их уникальной для звёздных объектов светимости.”

Бакланов Пётр

Один из представленных методов (ЕРМ) позволяет прямо измерить расстояние до сверхновой, не используя калибровки на предыдущих ступенях лестницы расстояний и избегая заложенных в них ошибок. Расплатой за это ценное свойство метода является необходимость теоретического понимания и моделирования физических процессов эволюционирующего выброса сверхновой. Важные детали этих процессов обсуждались в лекционной части занятий.

Лестница расстояний

Riess et al. 2016



Сверхновые – инструмент космографии

Методы

- ▶ **SN Ia** – главный инструмент, “стандартная свеча”
- ▶ **SN IIP** – прямые методы ЕРМ и SEAM
- ▶ **SN IIn** – новый прямой метод DSM, для самых ярких SN

На практической работе будем пробовать измерять расстояния по SN

За две лекционных пары раскрыть всю физику сверхновых невозможно. Мы надеемся, что базовые знания о сверхновых передать удалось. Судить об этом позволяют задаваемые в ходе лекций вопросы от слушателей. Они касались важных деталей развития взрывов и переноса излучения в оболочках сверхновых, а значит часть слушателей ухватили суть основных процессов и интересовались заглянуть ещё глубже.

"Практические занятия незаметно затянулись аж до 18:40, но все слушатели работали -- молодцы! Мне надо было спешить на обратный автобус в Москву, посему, увы, обратной связи со слушателями после лекций у меня не было. Получил интересный опыт участия в мероприятии школы при отсутствующих организаторах. Это когда на проходной берёшь ключи от зала, где никогда не был, у охранника, который никогда тебя не видел. Открываешь зал и осваиваешься на месте за 10 минут до начала лекции. Вся инфраструктура работала и привыкание к месту прошло на удивление гладко.

Единственное замечание к инфраструктуре --- это необходимость слушателям на практических занятиях работать с ноутами на коленках в зальных креслах. Никто не жаловался, но это явно неудобно. Лектору по рядам сложно перемещаться, отслеживая выполнение практического задания и отвечая на вопросы.

Давно мечтал увидеть Пуцинскую Радиоастрономическую обсерваторию. В день лекций мельком увидел ``мечту" --- за 20 минут в обед сделал круг между ДКР-1000, БСА и РТ-22. Вид радиотелескопов впечатляет, появилось много вопросов типа ``почему так сделано?" и осадок неудовлетворенности от недостатка времени. Требуется новый визит :)"

Бакланов Пётр

«Крупномасштабная структура»

Пилипенко Сергей:

На четвёртый день мы вернулись обратно к космологии и занимались крупномасштабной структурой Вселенной – наблюдаемым пространственным распределением галактик и их скоплений, а также механизмами её формирования. Современная космология утверждает, что наша Вселенная стала слегка неоднородной в первые моменты своей жизни, когда ещё не существовало привычной нам материи. Из этих неоднородностей потом развились галактики, в них образовались звезды. Сами галактики тоже оказались разбросаны не случайно: они образуют цепочки, "блины" и узлы, или, как это ещё называют, ячеистую крупномасштабную структуру. Поэтому исследование этой структуры – один из способов "заглянуть" в самые ранние моменты жизни Вселенной, а также узнать, какими свойствами обладает темная материя.

"Студенты школы имели возможность познакомиться с математическим описанием процесса развития крупномасштабной структуры и смоделировать его численно, т.е. увидеть своими глазами, как из малых неоднородностей возникает нечто похожее на наблюдаемую структуру. Для решения этой задачи надо было научиться представлять пространство Вселенной в виде трехмерной таблицы чисел, что оказалось не так-то просто."

Пилипенко Сергей

«Гравитационные волны»

Порайко Наталья:

Пятый день был посвящён тематике, которая не представлена в АКЦ ФИАН, но очень интересна большому числу исследователей по всему миру – Пульсарный тайминг. Метод пульсарного тайминга, впервые предложенный М.В. Сажиным в 1978 г., является единственным способом детектирования низкочастотных гравитационных волн в наногерцовом диапазоне. По сути задача сводится к выделению сигнала на фоне стохастических помех.

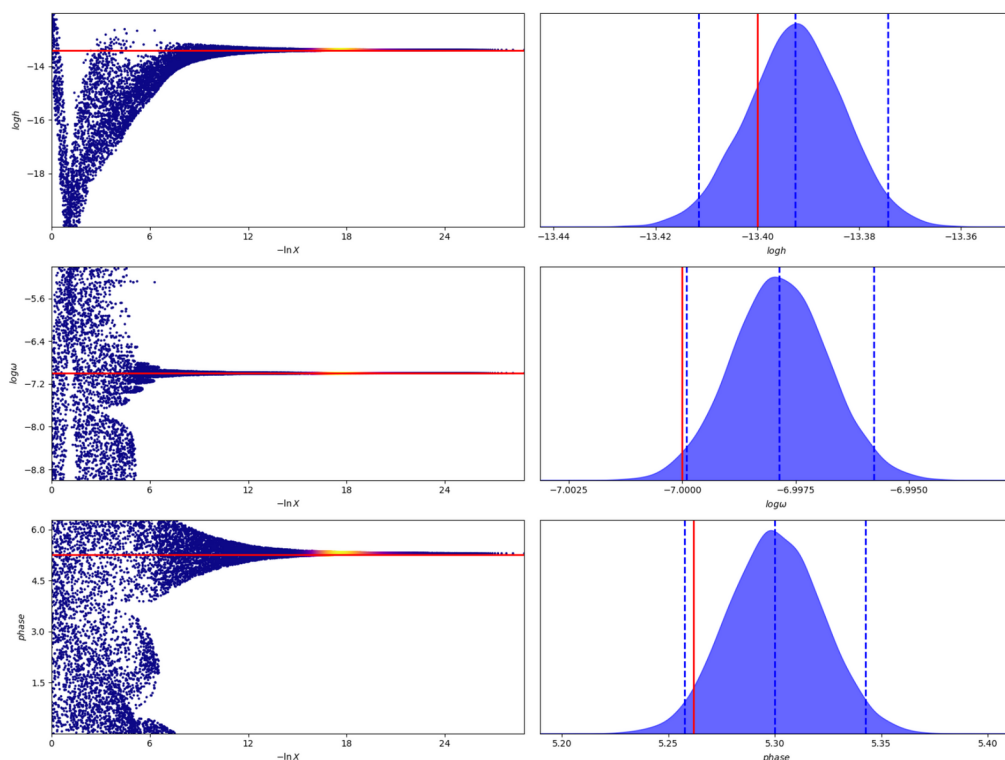
“На летней школе в Пущино мы со студентами разобрали конкретные приемы по поиску типичных сигналов в данном частотном диапазоне: гравитационной волны от индивидуальной двойной сверхмассивной черной дыры (ДСЧД) и гравитационно-волнового фона, созданного всей совокупностью ДСЧД. Мы поняли, что такое функция правдоподобия и Марковские цепи Монте-Карло, а также познакомились с теорией вероятности преподобного Байеса.”

Порайко Наталья

Разнообразие шумовых помех в реальных данных пульсарного тайминга сводит с ума ученых, занимающихся данной задачей на практике. Чтобы побереечь психологическое здоровье студентов на школе мы опробовали методы поиска сигнала с помощью Байесовской статистики на упрощенных симулированных данных. Освоенный формализм может быть использован студентами и для решения иных задач, которые будут встречаться им во время учебы в дальнейшем.

“Я была очень впечатлена мотивацией и желанием студентов познавать новое. Студенты не поверхностно подошли к решению задачи, а добивались глубокого понимания. Мне это было особо важно. В конце студенты долго меня “мучили” вопросами по гравитационным волнам, пульсарному таймингу и состоянию современной науки. Но таким пыткам я только рада.”

Порайко Наталья



Так закончилась первая неделя школы, начались выходные, когда студенты могли бы отдохнуть от занятий и лекций, но мы им не сильно давали это сделать. В субботу студенты отправились на экскурсию в один из ведущих научных центров России – МФТИ.

В воскресенье студенты получили возможность насладиться прекрасной природой города Пущино и окрестностей во время похода на отдых к реке Оке!



«Пыль в галактиках»

Дроздов Сергей:

Вторая неделя началась с новой темы – физики межзвёздной пыли. Это важное направление в астрофизике описывает ИК излучение, которое наблюдается во множестве объектов во Вселенной.

Курс "Пыль в галактиках" частично повторяет темы, которые были освещены на прошлой школе Современной астрофизики в 2023 году, но без вводной части никуда. В этом году он был направлен в сторону современного состояния исследований ярких ИК источников на больших красных смещениях: звёздообразующих галактик, запалённых квазаров и т.д.

“Это не простой материал для освоения с наскока, так как сильно зависит от обще-астрофизических знаний, тем не менее, я постарался представить его максимально понятно для слушателей. Они познакомились с эволюцией пыли с момента её формирования в остатках сверхновых и AGB-звёздах до испарения в сильных ударных волнах, увидели её влияние на масштабах далёких галактик в ранней Вселенной и в межзвёздной среде нашей Галактики.”

Дроздов Сергей

Курс был направлен в сторону теории больше, чем у других лекторов, тем не менее, мы попробовали посчитать некоторые основные величины, которые можно

использовать при интерпретации астрофизических наблюдений: температуру нагретой пыли, полную светимость и распределение энергии излучения.

Надеемся, что этот вводный курс в такую науку как физика межзвёздной пыли заинтересовал студентов и дал им больше понимания как процессов, протекающих в различных областях межзвёздной и межгалактической сред, так и осознание, чем занимаются учёные из этой области астрофизики.

«Численные ошибки»

Ткачёв Максим:

“Поскольку при работе с численными моделями зачастую не так просто отличить влияние численных эффектов от реальных физических явлений, важно иметь хотя бы общее представление о численных ошибках, которые в этих моделях могут возникать. Это и стало целью моего доклада, где мы постарались рассказать про основные типы численных ошибок.”

Ткачев Максим

После доклада была практическая часть, где студентам предлагалось решить небольшую задачку: по сути, требовалось провести анализ данных и выяснить испытывает ли код сильное влияние численных ошибок (и если да, то понять, что с этим делать). Студенты активно участвовали в обсуждении, задавали интересные вопросы и бодро писали код. Кто-то кстати даже дописал.

“По вопросам организации: пожалуй, моя единственная серьезная претензия – это выбор даты проведения школы. В июле жарко. Из-за жары студенты вынуждены были сидеть в актовом зале, потому что там немного прохладней, но актовый зал – это не самое подходящее место для практических занятий. Работать на ноутбуках в креслах не очень удобно. А лектору приходится протискиваться между рядами, если у кого-то вопрос по коду. Но в целом эмоции крайне положительные :) Надеюсь, мой доклад и практикум кому-то пригодится в дальнейшей работе.”

Ткачев Максим

«Гравитация за пределами ОТО»

Литвинов Дмитрий:

Общая теория относительности (ОТО) находит все новые экспериментальные подтверждения в виде обнаружения черных дыр, гравитационного излучения и объяснения крупномасштабной структуры Вселенной. Тем не менее, сейчас все более активно ведутся поиски отклонений от ее предсказаний. Причина здесь в том, что, с одной стороны, ОТО является классической, не квантовой теорией, и попытки ее квантования практически неизбежно приводят к нарушению ее базовых постулатов, в частности, принципа эквивалентности. Другой проблемой ОТО являются внутренние противоречия, такие как предсказание появления сингулярностей, которые характеризуются бесконечной кривизной и энергией. При этом сама ОТО неспособна объяснить, что происходит с материей при ее попадании в сингулярность. Одним из

перспективных способов поиска экспериментальных отклонений от предсказаний ОТО являются эксперименты с атомными часами, и, конечно, наибольшей точности такие измерения достигают при размещении часов на космических аппаратах. Именно такого типа эксперимент и смоделировали студенты.

"Целью работы было оценить точность измерения эффекта гравитационного замедления времени с помощью двух спутников, на которых установлены высокостабильные атомные часы. Задача оказалось непростой, т.к. студентам потребовалось освоить новую для них математическую библиотеку SPICE для проектирования космических миссий, преодолевать коварно расставленные мной ловушки в виде численных ошибок при моделировании окрашенного шума часов и, наконец, вникнуть в суть нового для них эксперимента. Очень приятно, что нескольким студентам удалось дойти до самого конца и получить правильный вид зависимости точности измерения параметра нарушения принципа эквивалентности от периода орбит спутников."

Дмитрий Литвинов

«Спектральные линии»

Шахворостова Надежда:

Мини-курс состоял из двух лекций и практических занятий, посвященных теме молекул в межзвездной среде и мазерному эффекту в космосе. В лекциях мы постарались охватить область в целом, так сказать, широкими мазками показать ее современное состояние. Хотелось обозначить наиболее интересные свежие результаты, продемонстрировать красоту явлений, сопровождающих процесс звездообразования в плотных облаках межзвездной среды. Насколько это удалось – судить слушателям.

"Участие в летней школе по астрофизике в качестве лектора было для меня интересным опытом. Пушчинская радиоастрономическая обсерватория - прекрасное и очень атмосферное место для занятий наукой и встречи со студентами. Более того, именно в этой обсерватории проводятся многолетние наблюдения за объектами межзвездной среды, мазерами, ведутся исследования рекомбинационных линий. Без преувеличения, здесь было сделано множество замечательных открытий. Кстати, гигантская вспышка мазера в области звездообразования G25.65, исследованиями которой я занимаюсь, была открыта на радиотелескопе РТ-22 в ПРАО. Так что прочесть лекции именно здесь было для меня особенным событием."

Шахворостова

В качестве практической задачи ребятам было предложено изучить спектральный скан области звездообразования DR21OH, отождествить линии молекулы метилацетилена, определить их параметры из наблюдений и вычислить кинетическую температуру газа и лучевую концентрацию молекул в облаке. Предложенный для практики метод часто используется для анализа физических условий в межзвездной среде, и на этом примере студенты смогли ознакомиться с типичным инструментарием данной области науки. Многие ребята успешно справились с задачей и получили верные параметры.

“Ещё одна задача была связана с построением изображения вспыхивающего мазера водяного пара в области G25.65 на основе РСДБ данных интерферометра VLBA. Эту задачу мы не успели сделать вместе из-за непредвиденных обстоятельств, но у студентов были необходимые материалы для того, чтобы завершить эту практику самостоятельно.

Мне удалось пообщаться лично с некоторыми ребятами, и это было очень приятное общение. На лекциях прозвучали очень хорошие вопросы, в целом все было очень позитивно и, как мне показалось, тематика молекул в межзвездной среде оказалась интересной для слушателей. Буду рада, если кому-то захочется продолжить заниматься этой темой, я открыта для любых вопросов и совместной работы! Всем ребятам желаю больших успехов на научном пути!”

Шахворостова

Отзывы студентов

1. Две недели прошли очень быстро и замечательно. Я подружилась с ребятами из школы, а задачки еще больше способствовали этому. Мне понравилось, что на школе на практиках был показан не только на python, но и matlab. Эта школа была довольно разносторонняя в плане тем. Однако я считаю, что лучше более глубокое погружения в одну тему, чем поверхностное по всем. Например, мне бы хотелось больше лекций и практик по АЯГам, гравитационным волнам и ОТО. Многие базовые вещи (вся лекция в МФТИ, вводная лекция про АЯГи, часть лекции про РСДБ в спектральных линиях, параллакс и тд) мне были известны, поскольку всё это было в университете, а вот лекции с "дополнительными главами" или более глубоким погружением в тему, как например, лекции по крупномасштабной структуре или ОТО, мне были полезны, поскольку поверхностно это было в университете, а "прощупать руками" удалось именно на школе. Я приятно провела время и очень надеюсь, что смогу приехать на школу в следующем году!
2. Спасибо за эту школу и за возможность познакомиться с интересными и перспективными направлениями в науке!
3. Выражаю огромную благодарность организаторам за то, что получилось собрать такой коллектив в таком месте: отличные лекторы, великолепная компания, атмосферный город и красивая природа вокруг. Желаю дальнейшего развития и улучшения Школы, а также искренне ее всем рекомендую!
4. За эти две недели мы получили много понимания о самых различных областях астрофизики, а главное познакомились со студентами и преподавателями. Общение во внеучебное время не только приятно, но и полезно. Вобщем 12/10, всем советую

5. Хорошая школа. Дает возможность побыть среди людей заинтересованных в астрономии и астрофизике, в том числе работающих в институтах других стран.
6. В этом году школа получилась во многом профориентационная. Было интересно пообщаться с учёными занимающимися различными областями астрономии, посмотреть на программы в которых они работают, послушать их мысли, надежды и чаяния. Если оценивать сложность, то по сложности математики это 2 - 3 курс, но по кругу поднимаемых тем школа подойдёт и для студентов 1 курса, желательно читавшего классические книги по общей астрономии. Также стоит отметить, что на школе можно познакомиться с такими же увлечёнными ребятами и девушками, и это пожалуй одна из самых главных причин почему стоит участвовать!
7. Летняя Школа по Астрофизике 2024, проходившая на базе Пущинской Радиоастрономической Обсерватории, стала для меня незабываемым и чрезвычайно полезным опытом.
Представьте себе 12 насыщенных дней, наполненных лекциями и практическими занятиями от ведущих специалистов: Михаил Лисаков, Наталия Порайко, Петр Бакланов и многие другие! Темы, которые мы изучали на Школе, были очень разнообразными и охватывали актуальные направления современной астрофизики.
Самым запоминающимся для меня стало занятие с Наталией Порайко - безумно интересный лектор, который прекрасно разбирается в своей теме и воодушевляет аудиторию обширными знаниями и подачей материала! На ее курсе мы учились определять сигнал гравитационных волн при помощи метода пульсарного тайминга, а также выделять полезный сигнал на фоне стохастического.
Особенно ценной для меня оказалась практическая часть курса, где мы активно занимались программированием и решением реальных астрофизических задач.
Конечно, 2 недели довольно мало, чтобы изучить все пройденные темы, но в любом случае за это время мне удалось получить ценные знания и навыки, а также стать частью научного сообщества и найти потенциального научного руководителя.
Помимо занятий у нас была выездная экскурсия в МФТИ на научную лекцию Андрея Лобанова - профессора университета Макса Планка, экскурсия по Пущинской обсерватории, а также то, чего все ждали - шашлыки на Оке! Отдельно хотелось бы отметить атмосферу Школы. Умные и интересные ребята, нетворкинг и вкусные печенки создали благоприятную обстановку для продуктивного обучения и обмена идеями. Я искренне рекомендую всем студентам и аспирантам, интересующихся астрофизикой, принять участие в этом мероприятии!