

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

IV Астрофизической школы «Траектория» им. О.В. Верходанова второго набора «Инструменты и методы наземной астрономии»

«Хронология метаморфоз носителей информации об астрофизическом явлении. От фотона до фона»

Общие положения

1. В программе ИМ Астрофизической школы «Траектория» им. О.В. Верходанова второго набора (АФШ) основное внимание уделяется астрофизике, астрономии, физике, математике.
2. Занятия проводятся в нескольких учебно-методических форматах: в виде лекций, практических занятий, наблюдений.
3. Лекции могут носить как учебный, так и общеобразовательный характер.
4. Практические занятия проводятся опытными педагогами.
5. Наблюдения осуществляются под руководством ведущих российских ученых-астрофизиков.
6. В процессе подготовки АФШ в настоящей программе возможны изменения (в том числе вызванные неблагоприятными для проведения наблюдений погодными условиями), касающиеся лекций, практических занятий, наблюдений.

I. Астрофизика

1. Особенности эксперимента в астрофизике

Неуправляемый эксперимент, наблюдение и моделирование. Измеряемые характеристики и их связь с физическими условиями в объектах. Астрофизические объекты как источники энергии. Волны, кванты, частицы. Статистические аспекты измерений в астрофизике. Энергетические спектры астрофизических источников. Спектральные диапазоны. Представление о плазме как излучателе и среде. Роль магнитного поля. Нестационарность астрофизических источников: времена и амплитуды.

2. Изучение электромагнитного излучения

2.1 Трансформация излучения при распространении

Распространение излучения в межзвездной среде: выборочное поглощение, рассеяние, дисперсия. Влияние атмосферы на волновой фронт, когерентность и спеклы. Поглощение в атмосфере. Наблюдения как восстановление зависимости характеристик поля излучения (от энергии, направления, момента времени, поляризации и типа кванта). Конечная точность наблюдений: временное, пространственное, спектральное, фотометрическое и поляризационное разрешение. Стохастическая природа потока энергии (шумы).

2.2 Телескопы. Инструменты в приближениях геометрической и волновой оптики

Телескоп как концентратор энергии. Типы и некоторые схемы телескопов, одно- и многоэлементные инструменты. Формирование изображений линзами и зеркалами. Аберрации. Основные характеристики инструментов. Сходства и различия оптических, ИК и радиотелескопов. Когерентный и некогерентный прием. Границы возможностей наземных инструментов. Компенсация атмосферных эффектов.

2.3 Детекторы.

2.3.1 Физические основы регистрации излучения

Типы детекторов. Аналоговая регистрация и счет фотонов. Ускорение и размножение электронов. Одноканальные (пространственно) и панорамные приемники. Квантовый выход. Разрешение: пространственное, спектральное, временное. Примеры детекторов: от фотопластинки до радиометров, ПЗС и КЧД.

2.3.2 Регистрация излучения и информация, в нем содержащаяся

«Декомпозиция» излучения: 3D, 4D данные. Диспергирующие системы: спектрографы, решетки, призмы, многоканальный (в спектральном смысле) прием сигнала. Поляриды. Чувствительность детекторов. Реализация фотометрических диапазонов. Возможность измерять энергию квантов. Шумы детекторов. Детекторы как преобразователи информации. Кодирование и хранение информации.

2.4 Анализ электромагнитного излучения

2.4.1 Общие свойства астрономических данных

Статистические свойства зарегистрированных данных. Математические методы обработки наблюдений. Переменность и скважность. Пределы обнаружения. Важность априорных предположений. Фон: небо, межзвездная и межпланетная среда, магнитосфера Земли. Фоновый сигнал и точность измерений.

2.4.2 Задача 1: Оптическая спектроскопия

Спектральный анализ: континуум и линии в разных диапазонах. Щелевая и бесщелевая спектроскопия. Спектры сравнения. Панорамная и 3D-спектроскопия. Особенности спектроскопии в ИК. Спектрополяриметрия.

2.4.2 Задача 1: Радиоспектроскопия

Континуум и линии в радиодиапазоне. Особенности радиотелескопов для спектроскопии. Спектрометры и сканеры высокого разрешения. Стабильность приема и шумы в радиоспектроскопии. Элементы интерпретации радиоспектров.

2.4.3 Задачи 2 и 3: Фотометрия и астрометрия (предельно слабые объекты и предельно высокое пространственное разрешение)

Пространственное разрешение в панорамной фотометрии. Интерферометрия в разных диапазонах. Спекл-интерферометрия. Фотометрия как спектроскопия сверхнизкого разрешения. Фотометрические системы. Стандарты и калибровки. Измерение поляризации.

2.4.4 Задачи 2 и 3: Радиоинтерферометрия

Угловое разрешение в радионаблюдениях. Телескопы с заполненной и незаполненной апертурой. Интерферометр из двух элементов. Понятия свертки и корреляционной функции. Функция видности. Требования к приемникам. Чувствительность интерферометра. Апертурный синтез. Обработка данных и методы улучшения изображения. Интерферометры со сверхдлинными базами.

2.4.5 Задача 4: Временные характеристики излучения

Переменность – ключ к физике и структуре астрономических объектов. Типы переменности и ее исследование разными методами, фотометрическими, спектральными, поляризационными, требования к детекторам. Временные ряды в астрофизике и их анализ. Связь наблюдаемых и физических величин. Предельное временное разрешение в исследованиях переменности. Time domain astronomy.

II. Физика

1. Электромагнитное излучение как волновой процесс

Магнито- и электростатика – переход к электродинамике. Взаимодействие магнитного и электрического полей. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в вакууме. Взаимодействие с веществом – диэлектрическая и магнитная проницаемость. Распространение электромагнитных волн в вакууме и среде. Скорость распространения и коэффициент преломления. Физические процессы на границах сред.

2. Электромагнитное излучение – геометрическое приближение

Оптический путь, принцип Ферма. Отражение и преломление. Формирование изображений оптическими системами. Особые точки и поверхности. Реальные оптические приборы. Аберрации. Представление о качестве оптических систем.

3. Физические характеристики излучения

Спектральные свойства – континуум тепловой и нетепловой, линии поглощения и излучения. Представление о спектроскопии. Поляризация разных типов. Элементы поляриметрии. Когерентность. Волновой фронт. Принцип Гюйгенса-Френеля. Интерференция и дифракция. Интерферометры.

4. Электромагнитное излучение – корпускулярное приближение, взаимодействие с веществом

Связь между представлениями, переход, распространение – волна, взаимодействие – частица. Фотоэффект внешний и внутренний. Представление об электронной оптике. Общие представления о приемниках излучения – различные типы фоточувствительных материалов.

5. Решение задач

III. Математика

1. Элементы математического описания поля

Величины дискретные и непрерывные. Скаляры, векторы, тензоры. Связь между ними. Поля скалярные и векторные. Матрицы и функции. Представление о поле как о некоей непрерывной величине, заданной в пространстве и времени. Примеры. Поля статические и динамические, их характеристики.

2. Представление о дифференциальных уравнениях

Линейные уравнения их системы. Уравнения в частных производных. Введение в методы их решений. Представление об операторах.

3. Введение в теорию колебаний и волн

Основные понятия. Волновое уравнение. Фазовая и групповые скорости. Монохроматические и немонахроматические волны. Элементы Фурье-разложения, спектры.

4. Элементы мат. статистики и теории измерений

Типы распределений, их характеристики. Генеральная совокупность и выборка. Выборочные распределения. Оценивание. Статистические свойства потоков событий, оценки их характеристик.

5. Решение задач

IV. Программирование

Работа с файлами и файловой системой в языке программирования Python. Теоретический экскурс в базовую работу с файлами (открытие, чтение, запись, закрытие). Базовые синтаксические конструкции и менеджеры контекста. Практических задачи в рамках темы. Работа с файловой системой и модулям glob и os.

Рассматриваемые темы: сканирование директорий на предмет наличия строго определенных файлов и папок, создание и удаление структур директорий, получение основных атрибутов файлов и директорий. Рутинные задачи по созданию, переименованию и переносу большого количества файлов и директорий.

V. Лекции

1. История радиоастрономии и ПРАО

В данной лекции будут рассмотрены основные этапы развития радиоастрономии в мире и вклад Пушинской радиоастрономической обсерватории в этот процесс.

2. Нейтрино: наш лучший космический разведчик

В России весной 2021 года открыт глубоководный нейтринный телескоп в озере Байкал.

Мы обсудим почему ученые так любят эту загадочную частицу - нейтрино, как охотятся за ней, при чем тут лед и вода?

В заключение нырнем в загадку космических супер-коллайдеров, разгоняющих массивные частицы практически до скорости света и рождающих нейтрино.

3. Лабораторная спектроскопия межзвездных молекул

Отличия и схожесть лабораторной и радиоастрономической спектроскопии. Типы лабораторных спектрометров и спектров молекул. Особенности доплеровской и субдоплеровской спектроскопии. Чувствительность лабораторной спектроскопии.

4. Радиоастрономические исследования в ПРАО АКЦ ФИАН

Данная лекция будет касаться текущего состояния материально-технической базы Пушинской радиоастрономической обсерватории как научной организации. Состояние телескопов и их дальнейшее будущее. Наиболее актуальные научные и научно-технические проекты, в которых обсерватория принимает или будет принимать участие. Будут рассмотрены наиболее яркие открытия, которые совершались в обсерватории за последнее время.

VI. Практические работы

1. Численный эксперимент в астрофизике

Современные обзоры. Большие данные и доступ к ним. Численное моделирование сложных физических систем и предсказание наблюдаемых величин. Популяционный синтез.

2. Решение практических задач по программированию

Разбор решений задач по теме “Python. Работа с файлами”. Примеры автоматизации рутинных задач по созданию, переименованию и переносу большого количества файлов и директорий.

3. Определение эффективной площади антенны

Краткое знакомство с основными понятиями теории антенн: диаграмма направленности, основной и боковой лепестки, эффективная площадь. Почему перечисленные параметры зависят от наклона антенны, а эффективная площадь всегда меньше геометрической? Примеры существующих радиотелескопов. Измерение поправок наведения, перевод с источника на источник, измерения яркости космических мазеров в

линии H₂O на длине волны 1.3 см. Калибровка антенны в континууме по областям, где рождаются звезды (при очень хорошей погоде - по планетам Солнечной системы).

VII. Английский язык

Разговорный и письменный английский язык в науке. Практические занятия.

VIII. Практика личностного роста

Отношения с самим собой – что это?

Как мы видим себя изнутри?

Как воспринимаем реальность вокруг нас?

Что такое теневая сторона нашей личности?

Почему важно стремиться к своей целостности? И что такое наша целостность?

Как понять, что выбранные нами цели соответствуют нашей природе?

Как это проверить?

Как сказать "да" своему выбору?

И как сказать "нет", если возникло убеждение в его ошибочности?

Беседы и упражнения на эти темы призваны помочь школьникам определять свои интересы и мотивировать себя развивать их.

IX. Встреча с научными руководителями

X. Серия «вопросов и ответов»

От Фонда

Исполнительный директор

/Юрик М.К./

От МЦНМО

Исполнительный директор

/Ященко И.В./