

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>   |
| <b>по дисциплине:</b>      | Экспериментальные методы в астрофизике   |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Общая и прикладная физика<br>Физтех-школа физики и исследований им. Ландау<br>кафедра космической физики |
| <b>курс:</b>               | 1  |
| <b>квалификация:</b>       | магистр  |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет  
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.  
семинары: 0 час.  
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: С.А. Гребенев, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры космической физики 02.07.2021

## **Аннотация**

Экспериментальная астрономия переживает в настоящее время невероятный подъем, вызванный бурным развитием технологий, разработкой новых уникальных материалов, широким применением компьютеров в проведении наблюдений и анализе данных, использованием космических аппаратов для астрономических исследований вне атмосферы Земли. Современные телескопы работают на Южном полюсе и во льдах Антарктиды, в глубоких подземных шахтах и глубинах озера Байкал, в пустынях Африки и Австралии и на безводных высокогорных (5 км) плато Южной Америки. Скоро будут введены в строй огромные 30- и 40-метровые оптические телескопы, для которых уже не страшна атмосферная турбулентность, гигантские (площадью 1 кв. км) радиотелескопы, работает сеть радиоинтерферометров со сверхдлинной базой, охватывающая весь мир. Стремительно развиваются рентгеновская и гамма-астрономия, астрономия сверхвысоких энергий, нейтринная астрономия, начали работать и становятся все более чувствительными гравитационно-волновые детекторы. Цель курса заключается в том, чтобы познакомить студентов с этой быстро развивающейся экспериментальной базой астрономии, подготовить их к будущим наблюдениям и исследованиям.

В курсе рассмотрены принципы работы и существующие разновидности высокочувствительных приемников излучения (телескопов и собственно детекторов), используемых в разных областях астрономии: радио, субмиллиметровой, инфракрасной, оптической, рентгеновской и гамма-, а также в физике космических лучей сверхвысоких энергий, нейтринной и гравитационно-волновой астрономии. Описаны сложности и особенности наблюдений, характерные для каждого диапазона энергий. Отмечено разнообразие астрономических задач, требующих разработки специализированных телескопов с уникальными характеристиками. Для каждого раздела астрономии дан обзор наиболее успешных телескопов, работавших на разных этапах ее развития, указаны наиболее яркие полученные ими результаты. Рассмотрены основные телескопы, проводящие активные наблюдения в наши дни, а также перспективные (разрабатываемые) телескопы ближайшего будущего.

Заметное внимание уделено в курсе вопросам определения чувствительности телескопов, их калибровки, оценкам требуемой экспозиции при наблюдении конкретных источников, особенностям проведения наблюдений и анализа данных, методам построения изображений и измерения разных характеристик космических источников, определению ошибок измерений. Рассмотрены основные пакеты программ, широко используемые для анализа данных наблюдений в астрономии.

## **1. Цели и задачи**

### **Цель дисциплины**

Познакомить студентов со стремительно развивающейся экспериментальной базой астрономии, подготовить их к будущим наблюдениям и исследованиям в этой области.

### **Задачи дисциплины**

Рассмотреть принципы работы и существующие разновидности высокочувствительных приемников излучения (телескопов и собственно детекторов), используемых в разных областях астрономии (диапазоны от радио до гамма-излучения сверхвысоких энергий).

Рассмотреть принципы работы телескопов и детекторов, используемых в нейтринной и гравитационно-волновой астрономии, в физике космических лучей сверхвысоких энергий.

Познакомить студентов с наиболее успешными телескопами, работавших на разных этапах развития астрономии, в том числе основными современными и перспективными разрабатываемыми телескопами в разных диапазонах. Подчеркнуть особенности, характерные для телескопов и анализа их данных в каждой области астрономии.

Описать пути дальнейшего развития детекторов и телескопов, технологические предпосылки для этого развития.

Ознакомить студентов с методами и особенностями обработки и анализа данных современных телескопов, с моделированием телескопов и приборов, с этапами их калибровки, с существующими пакетами программ для моделирования работы телескопов и анализа астрономических данных.

Подготовить студентов к участию в разработке новых телескопов, проведении наблюдений и анализа их данных в разных областях астрономии.

## **2. Перечень формируемых компетенций**

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук  | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности   |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи  | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности  |
|   | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость   |
|   | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий    | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов  |
|   | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности  |
|   | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты  |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                             | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)   |
|   | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)  |
|   | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов   |

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы работы телескопов и детекторов в разных разделах астрономии, факторы, влияющие на достоверность выполняемых с их помощью измерений.

уметь:

- оценивать чувствительность и возможности телескопов, обрабатывать данные их наблюдений, правильно определять статистические и систематические ошибки измерений.

владеть:

- : основными программами моделирования работы телескопов, методами и основными программами обработки и анализа данных их наблюдений, программами визуализации результатов их работы.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| №                     | Тема (раздел) дисциплины                       | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. |          |                 |                |
|-----------------------|--|---|----------|-----------------|----------------|
|                       |  | Лекции  | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1                     | Оптическая астрономия - 1                      | 3   |          |                 | 1              |
| 2                     | Оптическая астрономия - 2                      | 4   |          |                 | 2              |
| 3                     | Оптическая астрономия - 3                      | 4   |          |                 | 2              |
| 4                     | Микроволновая астрономия                       | 4   |          |                 | 2              |
| 5                     | Радиоастрономия                                | 4   |          |                 | 2              |
| 6                     | Рентгеновская астрономия 1                     | 4   |          |                 | 2              |
| 7                     | Рентгеновская астрономия 2                     | 4   |          |                 | 2              |
| 8                     | Рентгеновская астрономия 3                     | 3   |          |                 | 2              |
| 9                     | Рентгеновская астрономия 4                     | 3   |          |                 | 2              |
| 10                    | Рентгеновская астрономия 5                     | 4   |          |                 | 4              |
| 11                    | Детекторы оптической астрономии                | 4   |          |                 | 4              |
| 12                    | Детекторы рентгеновской астрономии             | 4   |          |                 | 4              |
| 13                    | Гамма-астрономия 1                             | 4   |          |                 | 4              |
| 14                    | Гамма-астрономия 2                             | 4   |          |                 | 4              |
| 15                    | Гравитационно-волновая и нейтринная астрономия | 4   |          |                 | 4              |
| 16                    | Ошибки измерений и анализ данных               | 3   |          |                 | 4              |
| Итого часов           |  | 60  |          |                 | 45             |
| Подготовка к экзамену |  | 30 час.   |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |  | 135 час., 3 зач.ед.   |          |                 |                |

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Оптическая астрономия - 1

Первый телескоп. Окна прозрачности в атмосфере Земли (длины волн). Диапазоны оптического спектра. Что определяет поглощение, факторы на него влияющие. Роль турбулентности ("сеяние"). Астроклимат. Фотометрические системы, их типы, фотометрические стандарты. Звездные величины. Показатели цвета.

Характеристики телескопов (диаметр объектива, фокусное расстояние, угловое разрешение, светосила, проникающая и разрешающая силы, размер протяженного и точечного источника, дифракционный предел). Конфьюжен лимит. Типы телескопов. Оптические схемы и фокусы. Аберрация в рефракторах и способы борьбы с ней. Крупнейшие рефракторы. Типы монтажных телескопов. Автогид.

##### 2. Оптическая астрономия - 2

Эволюция зеркал телескопов-рефлекторов. Крупнейшие рефлекторы. Крупнейшие российские телескопы. Увеличение апертуры. Активная оптика. Крупнейшие широкоугольные телескопы. Обзоры всего неба. Зачем нужны сети телескопов. Улучшение углового разрешения (метод «сдвинь-сложи», спекл-интерферометрия, интерферометрия, телескопы с адаптивной оптикой, космические телескопы). Строящиеся экстремально большие телескопы.

##### 3. Оптическая астрономия - 3

Эффективность телескопа. Фон неба, фотометрический парадокс и его объяснение. Характеристики телескопа, его эффективность и чувствительность, предельная звездная величина. Ее зависимость от фокусного расстояния. Короткофокусные и длиннофокусные телескопы.

#### 4. Микроволновая астрономия

Диапазоны микроволнового излучения. Реликтовое излучение, История открытия. Горячий газ в скоплениях галактик. Томсоновское рассеяние. Эффект Сюняева-Зельдовича. Спутники Реликт-1, COBE, WMAP, Planck. Особенности приборов, эволюция чувствительности и углового разрешения, результаты. Наземные микроволновые телескопы. Строящиеся миллиметровые и субмиллиметровые телескопы.

#### 5. Радиоастрономия

Радиотелескопы (полноповоротные, частично подвижные, неподвижные) и их компоненты (облучатель, радиометр, генератор шума). Диаграмма направленности и разрешающая способность. Чувствительность. Рефлекторы и рефракторы. Антенны с заполненной апертурой (БСА в Пушино), параболические тарелки и цилиндры, антенны с плоскими отражателями, земляные чаши (Аресибо), антенные решетки, антенны с незаполненной апертурой (ДКР-1000 в Пушино). Крупнейшие телескопы (РАТАН-600, FAST, 100-м рефлекторы в Грин Бэнк и Бонне, РТ-70 в Евпатории и Уссурийске, 70-м в Канберрах, 64-м рефлекторы в Калязино и Медвежьих Озерах и др.). Интерферометры (VLA, MERLIN, ATCA, ALMA, WSRT). Апертурный синтез (последовательный и параллельный). Предельное разрешение. Сверхдальняя интерферометрия (РСДБ, телескопы VLBA, Квазар, ЕНТ). Космические радиотелескопы (TDRSS, Радиоастрон). Проект SKA (адаптивной антенной решетки площадью свыше 1 кв. км).

#### 6. Рентгеновская астрономия 1

Детекторы жесткого излучения (пропорциональные газовые камеры, сцинтилляционные детекторы, фотоумножители). Защита пассивная и основанная на принципе антисовпадения, дискриминация по фронту нарастания, коллиматоры сотовые и модуляционные. Рентгеновские спутники с простейшими детекторами. Телескопы, способные получать рентгеновские изображения (камеры обскура, ротационно-модуляционные коллиматоры, «глаз Лобстера», линзы Кумахова, телескопы с кодирующей апертурой). Типы масок телескопов с кодирующей апертурой. Фоконы.

#### 7. Рентгеновская астрономия 2

Обсерватории с коллимированными рентгеновскими детекторами большой площади (особенности и задачи наблюдений, результаты). Обсерватории, оснащенные рентгеновскими телескопами с кодирующей апертурой (РЕНТГЕН на модуле МИР-КВАНТ, ГРАНАТ, ИНТЕГРАЛ, их характеристики, важнейшие результаты, достоинства и недостатки).

#### 8. Рентгеновская астрономия 3

Достоинства и недостатки рентгеновских телескопов с зеркалами косого падения. Типы рентгеновских зеркал. Функция отклика и ее зависимость от энергии и отклонения от оси телескопа. Строение и покрытие рентгеновских зеркал. Элементы конструкции зеркальной системы и свойства оболочек. Рентгеновские телескопы с зеркалами косого падения (летавшие и продолжающие работать). Обсерватории Эйнштейн (HEAO-2), ROSAT, ASCA. Характеристики их телескопов, важнейшие результаты, достоинства и недостатки.

Семестр: 2 (Весенний)

#### 9. Рентгеновская астрономия 4

Обсерватории Chandra (AXAF), XMM-Newton, NuSTAR, NICER. Характеристики телескопов, важнейшие результаты, достоинства и недостатки. Перспективные обсерватории Lynx и Athena.

## 10. Рентгеновская астрономия 5

Характеристики рентгеновских телескопов, виньетирование, грасп, однократно рассеянные фотоны. Обсерватория SRG и ее телескопы eROSITA и ART-XC. Их характеристики в сравнении с другими обсерваториями, первые результаты. Калибровка зеркал и детекторов (как и что проверяется). Моделирование научных результатов на примере телескопа ART-XC. Сложности моделирования обзора неба.

## 11. Детекторы оптической астрономии

Предельная звездная величина при визуальных наблюдениях. Фотопластинки и пленки. Электрофотометры. Твердотельные детекторы. Принципы работы и считывания CCD. Предпочтительность использования CCD в оптических телескопах. Характеристики CCD-камер. Природа ошибок измерений с помощью CCD-камер (темновой ток, ток смещения, шум считывания, “горячие” пиксели, разный размер пикселей, насыщение). Кадры плоского поля. Первичная обработка изображений.

## 12. Детекторы рентгеновской астрономии

CCD (ПЗС)-матрицы (схема, принципы работы и считывания, типы), CMOS-матрицы (схема, принципы работы и считывания, сравнение с CCD). Чувствительность к энергиям фотонов. PIN-диод. Стриповые диоды (принципы работы, методы определения положения фотона, схемы деления заряда). Двухсторонние стриповые детекторы. Детектор телескопа SRG/ART-XC. Кремниевые дрейфовые детекторы (принцип определения координаты события). Линейный и матричный SDD, радиальный SDD. Полностью обедненный p-n CCD детектор (обсерватория XMM). Преимущества по сравнению с обычными CCD. DEPFET детектор.

## 13. Гамма-астрономия 1

Гамма-диапазоны, процессы поглощения гамма-излучения, особенности гамма-астрономии высоких энергий. Детекторы, используемые в гамма-астрономии (искровые камеры, черенковские детекторы, сцинтилляторы, кремниевые стриповые детекторы). Первые космические гамма-обсерватории (OSO-3, SAS-2, COS-B), принцип регистрации гамма-фотонов. Отечественные гамма-обсерватории (Протон-1, Протон-2, Космос-208, Космос-251, Космос-461). Характеристики телескопов, важнейшие результаты.

## 14. Гамма-астрономия 2

Гамма-обсерватории следующих поколений: Гамма-1, CGRO (телескопы EGRET, COMPTEL, OSSE), AGILE, FERMI (GLAST). Перспективные космические гамма-обсерватории (Гамма-400, SIGAM, e-ASTROGAM).

Широкие атмосферные ливни и черенковские телескопы. Первые поколения черенковских телескопов (обсерватория им. Уиппла, телескопы РЧВ-1 и ГТ-48 в КрАО). Стереоскопический метод и связанная с ним революция в гамма-астрономии сверхвысоких энергий (телескопы HEGRA, CAT, CANGAROO). Телескопы 3-го поколения (HESS и HESS II, MAGIC, VERITAS, CTA), их результаты.

## 15. Гравитационно-волновая и нейтринная астрономия

Эпоха многоканальной астрономии. Исследования космических лучей сверхвысоких энергий черенковскими установками (отличие от атмосферных черенковских телескопов для исследования гамма-излучения). Установка Тунка (TAIGA), сравнение с другими экспериментами.

Методы регистрации нейтрино. Баксанская нейтринная обсерватория и ее телескопы. Обсерватория Super-Kamiokande, солнечный нейтринный телескоп (SNT), установка IceCube, подводный Байкальский нейтринный телескоп.

Принципы регистрации гравитационных волн (резонансный и интерферометрический метод). Установка LIGO, ее устройство и особенности. Регистрация и отождествление событий. Действующие установки Virgo, KAGRA (LCGT), GEO600, строящиеся LIGO-India и телескоп Эйнштейна в Европе. Космический гравитационно-волновой интерферометр LISA (и LISA-Pathfinder), объекты его исследования. Использование пульсаров для гравитационно-волновых измерений. Результаты LIGO/Virgo, в том числе события слияния нейтронных звезд GW170817 и GW190425, наблюдение их электромагнитных проявлений: гамма-всплеска GRB170817A, его послесвечения, килоновой, гамма-всплеска GRB 190425A. Трудности поиска оптических проявлений таких событий.

## 16. Ошибки измерений и анализ данных

Ошибки измерений (статистические и систематические). Пуассоновские ошибки. Перенос ошибок. Использование метода Монте-Карло. Аналитические модели аппроксимации данных (фитирование, симплекс методы). Метод наименьших квадратов. Поиск периодов и анализ спектров мощности. Фильтрация изображений и временных рядов, использование вейвлет-преобразования. Общеупотребительные пакеты программ для обработки и анализа данных в астрономии.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Компьютерный проектор и экран.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Астрофизика высоких энергий [Текст] : [учеб. пособие для вузов / М. Лонгейр ; пер. с англ. Ю. Э. Любарского, Н. С. Ямбуренко ; под ред. Р. А. Сюняева. — М. : Мир, 1984. — 396 с.
2. Основы экспериментальных методов ядерной физики [Текст] / А. И. Абрамов, Ю. А. Казанский, Е. С. Матусевич - М. Атомиздат, 1970
3. Небо и телескоп [Текст]/[К. В. Куимов и др.] , -М., Физматлит, 2008

### Дополнительная литература

1. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии [Текст], монография/А. Р. Томпсон, Д. М. Моран, Д. У. Свенсон , -М., Физматлит, 2003
1. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии [Текст], монография/А. Р. Томпсон, Д. М. Моран, Д. У. Свенсон , -М., Физматлит, 2003.
2. Разведка далеких планет [Текст]/В. Г. Сурдин, -М., Физматлит, 2011.
3. Физика космоса - маленькая энциклопедия (ред.-сост. Р.А. Сюняев) – М.: Советская энциклопедия, 1986.
4. Складки на ткани пространства-времени (Эйнштейн, гравитационные волны и будущее астрономии). Г. Шиллинг - М.: Альпина-нонфикшн, 2018.
5. Semiconductor Radiation Detectors. Device Physics. G. Lutz - Springer, 1999.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<https://ru.wikipedia.org>

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Общая и прикладная физика<br>Физтех-школа физики и исследований им. Ландау<br>кафедра космической физики |
| <b>курс:</b>               | <u>1</u>   |
| <b>квалификация:</b>       | магистр  |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** С.А. Гребенев, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук  | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности   |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи  | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности  |
|   | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость   |
|   | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий    | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов  |
|   | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности  |
|   | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты  |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                             | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)   |
|   | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)  |
|   | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов   |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экспериментальные методы в астрофизике» обучающийся должен:

### знать:

- принципы работы телескопов и детекторов в разных разделах астрономии, факторы, влияющие на достоверность выполняемых с их помощью измерений.

### уметь:

- оценивать чувствительность и возможности телескопов, обрабатывать данные их наблюдений, правильно определять статистические и систематические ошибки измерений.

### владеть:

: основными программами моделирования работы телескопов, методами и основными программами обработки и анализа данных их наблюдений, программами визуализации результатов их работы.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрен.

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов:

1. Окна прозрачности в атмосфере Земли (длины волн).
2. Наземные телескопы
3. Астроклимат
4. Космические обсерватории
5. Звездные величины

Примеры контрольных заданий:

1. Предел на разрешение телескопа
2. Разрешение радиотелескопа
3. Детекторы жесткого излучения – принципы работы
4. CCD (ПЗС)-матрицы (схема, принципы работы и считывания, типы)
5. CMOS-матрицы (схема, принципы работы и считывания, сравнение с CCD).

Примеры экзаменационных билетов (если форма контроля - экзамен)

Билет 1.

1. Окна прозрачности в атмосфере Земли (длины волн). Диапазоны оптического спектра. Что определяет поглощение, факторы на него влияющие. Роль турбулентности ("сеяние"). Астроклимат.
2. Рентгеновские телескопы с зеркалами косого падения (летавшие и продолжающие работать). Обсерватории Эйнштейн (HEAO-2), ROSAT, ASCA. Характеристики их телескопов, важнейшие результаты, достоинства и недостатки.
3. Наземные микроволновые телескопы. Строящиеся миллиметровые и субмиллиметровые телескопы.

Билет 2.

1. Аберрация в рефракторах и способы борьбы с ней. Крупнейшие рефракторы. Типы монтажных телескопов. Автогид.
2. Типы масок телескопов с кодирующей апертурой. Обсерватории, оснащенные рентгеновскими телескопами с кодирующей апертурой (характеристики, важнейшие результаты, достоинства и недостатки).
3. Детекторы жесткого излучения (пропорциональные газовые камеры, сцинтилляционные детекторы). Фотоумножители. Фоконы.

Билет 3.

1. Фон неба (оптический), фотометрический парадокс и его объяснение.
2. Строение и покрытие рентгеновских зеркал. Элементы конструкции зеркальной системы и свойства оболочек.
3. CCD (ПЗС)-матрицы (схема, принципы работы и считывания, типы), CMOS-матрицы (схема, принципы работы и считывания, сравнение с CCD).

Билет 4.

1. Улучшение углового разрешения рефлекторов (метод «сдвинь-сложи», спекл-интерферометрия, интерферометрия, телескопы с адаптивной оптикой, космические телескопы). Строящиеся экстремально большие телескопы.
2. Достоинства и недостатки рентгеновских телескопов с зеркалами косого падения. Типы рентгеновских зеркал. Функция отклика и ее зависимость от энергии и отклонения от оси телескопа.
3. Предельная звездная величина при визуальных наблюдениях. Фотопластинки и пленки. Электрофотометры. Твердотельные детекторы. Принципы работы и считывания CCD. Предпочтительность использования CCD в оптических телескопах. Характеристики CCD-камер.

## Билет 5.

1. Увеличение апертуры рефракторов и рефлекторов. Активная оптика. Крупнейшие широкоугольные телескопы. Обзоры всего неба. Зачем нужны сети телескопов.
2. Обсерватории Chandra (AXAF), XMM-Newton, NuSTAR, NICER. Характеристики телескопов, важнейшие результаты, достоинства и недостатки. Перспективные обсерватории Lynx и Athena.
3. Природа ошибок измерений с помощью CCD-камер (темновой ток, ток смещения, шум считывания, “горячие” пиксели, разный размер пикселей, насыщение). Кадры плоского поля. Первичная обработка изображений.

### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачёт (экзамен) проводятся в письменной (устной) форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта и экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.