

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(САО РАН)

**ПРИНЯТО**

решением Ученого совета

САО РАН № 372

от «31» мая 2019 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор САО РАН

В.В. Власюк

2019 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по специальной дисциплине

НАИМЕНОВАНИЕ: «АКТИВНЫЕ ЯДРА ГАЛАКТИК»

Направление  
подготовки

**03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ**

Направленность  
(профиль) подготовки

**01.03.02 АСТРОФИЗИКА И ЗВЕЗДНАЯ  
АСТРОНОМИЯ**

Присваиваемая  
квалификация:

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬ.  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ-ИССЛЕДОВАТЕЛЬ**

Объем занятий: Итого

72 ч. 2 з.е.

Из них:

Лекций

25 ч.

Лабораторных работ

Практических занятий

Самостоятельной работы

47 ч.

п. Нижний Архыз  
2019

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (Уровень высшего образования, Подготовка кадров высшей квалификации, Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 г. N 867, программы-минимум кандидатского экзамена, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 08 октября 2007г. № 274 и дополнительной программы кандидатского экзамена, принятой на заседании Ученого совета и утвержденной директором САО РАН.

Автор: главный научный сотрудник лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов, д.ф.-м.н. профессор Афанасьев В.Л.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Исследование активных ядер галактик (АЯГ, AGN) является одним из ключевых направлений современной астрофизики и занимает заметное место в научных исследованиях, проводимых в САО РАН.

В процессе изучения курса аспирант ознакомится с теоретическими основами физики активных ядер галактик и освоит методы исследований таких объектов на различных телескопах, включая БТА и РАТАН-600. Особое внимание уделяется развитию умения работать с литературными данными и способности усваивать методы и новейшие данные в исследуемой области. Поэтому заметная часть времени отводится на самостоятельную работу - домашние задания, выполнение которых контролируется в виде небольших индивидуальных опросов-собеседований, сопровождающих каждую лекцию.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Активные ядра галактик» - Б1.В.ДВ.16 относится к базовой части Блока 1 «Дисциплины».

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Активные ядра галактик», являются базовые дисциплины бакалавриата, магистратуры и специалитета и дисциплина базовой части Б1.Б.2 «Иностранный язык» и обязательные дисциплины вариативной части Блока 1 - Б1.В.ОД.3 «Спектроскопия звезд и звездная эволюция» и Б1.В.ОД.4 «Компьютерная обработка результатов измерений». Дисциплина «Активные ядра галактик» логически, содержательно и методически связана с последующими блоками учебного плана: блоками 2 «Практики», 3 «Научно-исследовательская работа», 4 «Государственная итоговая аттестация» - Б2.1, Б2.2, Б3.1, Б4.Г.1, Б4.Д.1.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1 НАИМЕНОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ

Индекс	Расшифровка
УК-1	-способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
УК-4	-готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках;
ОПК-1	-способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;
ПК-1	-способность свободно владеть разделами астрофизики, необходимыми для проведения фундаментальных и прикладных научных исследований;
ПК-3	-способность использовать знания современных проблем и новейших достижений астрофизики в своей научно-исследовательской деятельности;
ПК-4	-способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области астрофизики и решать их с применением новой аппаратуры, оборудования, информационно-коммуникационных и цифровых технологий с учетом новейшего отечественного и зарубежного опыта

## 3.2 СТРУКТУРА И КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ КОМПЕТЕНЦИЙ

### Аспирант должен знать:

- учебную, методическую и научную литературу по тематике исследования (УК-4, ПК-1);
- методы работы с астрономическими базами данных; схемы доступа к открытым ресурсам астрономической периодической литературы (УК-4, ПК-1);
- основные этапы обработки спектральных данных (ОПК-1, ПК-1);
- методики анализа наблюдений (УК-1, ОПК-1, ПК-1, ПК-3);
- алгоритмы построения научного исследования (УК-1, УК-4, ОПК-1, ПК-3, ПК-4);
- формальные и этические нормы проведения научных изысканий (УК-4, ПК-1).

### Аспирант должен уметь:

- использовать современные индексируемые базы данных научных публикаций – ADS, AstroPh, WoS, Scopus, РИНЦ (УК-4, ПК-1, ПК-3);
- эффективно использовать информационные технологии (УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-3);
- анализировать и делать выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента (УК-1, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-4);
- самостоятельно осуществлять поиск астрономических данных (УК-1, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-3).

### Аспирант должен владеть:

- основными методами статистической обработки данных (УК-4, ПК-1, ПК-3);
- современными методами исследования астрофизических явлений и процессов (УК-1, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-4);
- навыками анализа результатов астрофизических исследований (УК-1, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-4);
- методами проведения научной дискуссии (УК-1, УК-4, ОПК-1, ПК-4);
- культурой системного научного мышления (УК-1, ОПК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-4).

## 3.3 ПЛАНИРУЕМЫЕ УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Уровни сформированности	Индикаторы	Дескрипторы	
		«зачтено»	«не зачтено»
Базовый	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- учебную, методическую и научную литературу по тематике исследования;</li> <li>- методы работы с астрономическими базами данных; схемы доступа к открытым ресурсам астрономической периодической литературы;</li> <li>- основные этапы обработки спектральных данных;</li> <li>- методики анализа наблюдений;</li> </ul>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- учебную, методическую и научную литературу по тематике исследования;</li> <li>- методы работы с астрономическими базами данных; схемы доступа к открытым ресурсам астрономической периодической литературы;</li> <li>- основные этапы обработки спектральных данных;</li> <li>- методики анализа</li> </ul>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- учебную, методическую и научную литературу по тематике исследования;</li> <li>- формальные и этические нормы проведения научных изысканий</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- алгоритмы построения научного исследования;</li> <li>- формальные и этические нормы проведения научных изысканий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>наблюдений;</li> <li>- алгоритмы построения научного исследования;</li> <li>- формальные и этические нормы проведения научных изысканий</li> </ul>	
	<p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать современные индексируемые базы данных научных публикаций – ADS, AstroPh, WoS, Scopus, РИНЦ;</li> <li>- эффективно использовать информационные технологии;</li> <li>- анализировать и делать выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;</li> <li>- самостоятельно осуществлять поиск астрономических данных</li> </ul>	<p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать современные индексируемые базы данных научных публикаций – ADS, AstroPh, WoS, Scopus, РИНЦ;</li> <li>- эффективно использовать информационные технологии;</li> <li>- анализировать и делать выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;</li> <li>- самостоятельно осуществлять поиск астрономических данных</li> </ul>	<p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать современные индексируемые базы данных научных публикаций – ADS, AstroPh, WoS, Scopus, РИНЦ;</li> <li>- эффективно использовать информационные технологии</li> </ul>
	<p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основными методами статистической обработки данных;</li> <li>- современными методами исследования астрофизических явлений и процессов;</li> <li>- навыками анализа результатов астрофизических исследований;</li> <li>- методами проведения научной дискуссии;</li> <li>- культурой системного научного мышления</li> </ul>	<p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основными методами статистической обработки данных;</li> <li>- современными методами исследования астрофизических явлений и процессов;</li> <li>- навыками анализа результатов астрофизических исследований;</li> <li>- методами проведения научной дискуссии;</li> <li>- культурой системного научного мышления</li> </ul>	<p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами проведения научной дискуссии;</li> <li>- культурой системного научного мышления</li> </ul>

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы 72 часа.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успевае- мости
		Лек- ции	Практ. занятия	Лаб. занятия	Само- стоят. работа	
1.	Открытие галактик с активными ядрами. Наблюдения и каталоги AGN. Общие свойства. Типы и классификация AGN	2			4	индиви- дуальный опрос
2.	Исследования структуры и механизмов излучения AGN. Сходства и различия – диагностические диаграммы. Морфология и структура AGN	2			4	индиви- дуальный опрос
3.	Модели источников энергии AGN. Роль неустойчивостей в галактическом диске и окружении AGN на различных масштабах. Аккреция материи и светимость AGN	2			4	индиви- дуальный опрос
4.	Фотоионизация и механизмы возбуждения линий. Комптоновское и обратное Комптоновское рассеяние. Поляризация излучения AGN	2			4	индиви- дуальный опрос
5.	Унифицированная модель AGN: область образования широких линий (BLR) - геометрия и физические особенности, области образования узких линий NLR, газовой-пылевой тор. Релятивистские истечения материи (джеты) - анатомия джета и сверхсветовые движения	3			5	индиви- дуальный опрос
6.	Супермассивная черная дыра в центре AGN – теория и наблюдательные проявления. Метрика в окрестности черной дыры. Аккреционный диск – структура и роль аккреции в формировании AGN	2			4	индиви- дуальный опрос
7.	Измерения масс черных дыр: прямые и непрямые методы, метод эхо-картирования (реверберации), зависимость радиус-светимость, использование фотоионизационных моделей, масс из поляризации широких линий	3			5	индиви- дуальный опрос
8.	Спектральные свойства эмиссионных областей AGN. Высокоэнергетическое излучение - спектр излучения аккреционного диска и линия Fe K $\alpha$ , ультрафиолетовое и оптическое излучение – континуум, широкие и узкие эмиссионные линии, запрещенные линии и	2			4	индиви- дуальный опрос

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля
	диагностика плазмы					
9.	Эмиссионные линии железа и связь между спектральными особенностями AGN – линии FeII в оптической и ультрафиолетовой частях спектра, линии металлов высокого возбуждения в горячей короне, популяции объектов А и Б типов	2			4	индивидуальный опрос
10.	Области поглощения в BAL-QSO и инфракрасное излучение на границе газопылевого тора. Радио излучение AGN	2			4	индивидуальный опрос
11.	Связь между родительской галактикой (host-galaxy) и AGN. Звездообразование в галактиках, эволюция распределения энергии в спектрах AGN, роль газовых течений в эволюции AGN и рост масс черных дыр	3			5	индивидуальный опрос итоговый зачет
<b>Баланс времени:</b>		<b>25 ч</b>			<b>47ч</b>	<b>72 ч</b>

## **5. НАИМЕНОВАНИЕ И ФОРМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

## **6. НАИМЕНОВАНИЕ И ФОРМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АСПИРАНТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса и самостоятельной работы. Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации, представленным в п.9 рабочей программы.

## **8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **8.1 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ**

Текущий контроль осуществляется по результатам самостоятельной работы. Промежуточный контроль – индивидуальный опрос-беседа на лекциях по итогам выполненных заданий для самостоятельной работы.

Итоговым контролем является итоговый зачет по дисциплине.

## 8.2 ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющий оценить уровень сформированности компетенций, представлен следующими компонентами:

Код оцениваемой компетенции	Этап формирования компетенции (№ темы)	Тип контроля	Вид контроля	Компонент фонда оценочных средств	Кол-во эл-тов, шт.
УК-1 УК-4 ОПК-1 ПК-1 ПК-3 ПК-4	Темы 1-11	текущий	устный	индивидуальные задания для самостоятельной работы	11
	Темы 1-11	итоговый зачет	устный	вопросы к зачету	12

## 8.3 КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

При сдаче итогового зачета по дисциплине отметка «зачет» выставляется, если аспирант демонстрирует знание основного материала, излагает его, применяет теоретические положения при решении задач.

Отметка «не зачет» выставляется в случае, если аспирант не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки в изложении основного материала.

## 8.4 ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИТОГОВОГО ЗАЧЕТА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Классификация AGN. Различие между сейфертовскими галактиками 1-го и 2-го типов.
2. Структура, морфология и механизмов излучения AGN.
3. Роль неустойчивостей в галактическом диске и окружении AGN на различных масштабах.
4. Эддингтоновский предел.
5. Основные этапы обработки спектральных данных низкого разрешения.
6. Супермассивная черная дыра и AGN.
7. Причина наблюдаемых сверхсветовых движениях в джетах.
8. Влияние окружения ядра галактики на его активность.
9. Спектральные свойства эмиссионных областей AGN.
10. Роль проведения плазменной диагностики при изучении ионизации газа в AGN



11. Результаты исследования линий поглощения в далеких квазарах.
12. Связь между родительской галактикой (host-galaxy) и AGN и звездообразование в галактиках.

## **8.5 МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ**

Текущий и итоговый контроль работы аспирантов проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине.

Перед итоговым зачетом по дисциплине аспиранту необходимо полностью выполнить и сдать индивидуальные задания для самостоятельной работы, выдаваемые после каждой лекции (всего 11 заданий). При наличии задолженностей по результатам индивидуальных заданий аспирант к итоговому зачету не допускается. Итоговый зачет по дисциплине предусмотрен в устной форме. На подготовку к ответу отводится 30 минут. При подготовке к ответу аспиранту предоставляется право пользования программой дисциплины.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

#### **9.1.1 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Соболев В.В., Курс теоретической астрофизики, Наука, 1975
2. Засов А., Постнов К., Общая астрофизика, Фрязино, 2006
3. Бисноватый-Жоган, Релятивистская астрофизика и физическая космология, Красанд, 2011

#### **9.1.2 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Сильченко О.К. Происхождение и эволюция галактик, Фрязино, 2017

### **9.2 ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ**

1. The AGN Black Hole Mass Database, <http://www.astro.gsu.edu/AGNmass/>
2. Астрофизическая информационная система ADS - <http://adswww.harvard.edu/>
3. Европейская поисковая и информационная база астрофизических и астрономических данных <http://cdsweb.u-strasbg.fr/>
4. Слоановский цифровой небесный обзор SDSS - <http://www.sdss.org/>

### **9.3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Специальное программное обеспечение не требуется.

#### **9.4 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

- экран;
- мультимедийный проектор;
- компьютер;
- выход в Интернет и интранет САО РАН в лабораторных корпусах;
- сервер общего доступа для обработки и хранения данных;
- текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки САО РАН;
- оборудование научно-исследовательских лабораторий САО РАН.