

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 № 404

от «20» июня 2022 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор САО РАН,

\_\_\_\_\_ / Г.Г. Валявин /

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине «АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ В АСТРОФИЗИКЕ»

Научная специальность 1.3.1. ФИЗИКА КОСМОСА, АСТРОНОМИЯ

Объем занятий: Итого 72 ч. 1 1/3 нед.

Из них:

Лекций 30 ч.

Практических занятий 6 ч.

Самостоятельной работы 36 ч.

п. Нижний Архыз 2022

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 года № 951, утвержденной Программой кандидатского экзамена по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия, принятой на заседании Ученого совета САО РАН.

Автор: доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физики звезд С.Н. Фабрика.

## 1. Общие положения

Аккреционные диски очень распространены в космосе. Они формируются вокруг релятивистских звезд — белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр. Они присутствуют в ядрах галактик и квазаров, где находятся сверхмассивные черные дыры массой от сотен тысяч до десятков миллиардов масс Солнца. Аккреция вещества на черные дыры и нейтронные звезды – самый эффективный механизм выделения энергии (около 10% от  $mc^2$ ). Различают аккреционные диски радиативные (стандартные или диски Шакуры-Сюняева), адвекционные и сверхкритические. При темпах аккреции 0.01–1.0 от критического аккреционные диски – стандартные. В этом случае выделяемая в диске энергия выносится излучением. При меньших темпах аккреции диск становится адвекционным, излучение не успевает охладить диск. Адвекционные диски становятся толстыми и у них начинается истечение газа в виде струй. При темпах аккреции больше критических излучение также не может охладить диск, сверхкритический диск тоже становится толстым, и в нем формируется канал по оси диска. В канале появляются благоприятные условия для ускорения струй. Примером сверхкритического диска является уникальный объект Галактики – SS433. Также сверхкритические диски были у сверхмассивных черных дыр в ранние эпохи формирования квазаров.

В процессе изучения курса, аспирант освоит лекционный материал по теме, получит навыки работы в компьютерных программах, позволяющих проводить обработку оптических и рентгеновских данных, полученных на различных наземных и космических телескопах, а также на 6-метровом телескопе БТА САО РАН. Будут освоены методики расчета моделей аккреционных дисков и сравнение их с наблюдательными данными.

Дисциплина «Аккреционные диски в астрофизике» – 2.1.1.(Ф) относится к факультативным дисциплинам образовательного компонента.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Аккреционные диски в астрофизике», являются базовые дисциплины бакалавриата, магистратуры и специалитета, и элективные дисциплины – 2.1.6. «Компьютерная обработка результатов измерений», 2.1.7. «Астрономические светоприемники» и 2.1.8. «Физика массивных звезд».

Дисциплина «Аккреционные диски в астрофизике» логически, содержательно и методически связана с последующими компонентами программы аспирантуры – 1.1. «Научная деятельность, направленная на подготовку диссертации на соискание научной степени кандидата наук к защите», 1.2. «Подготовка публикаций и (или) заявок на патенты на изобретения, полезные модели, свидетельства о государственной регистрации программ для электронных вычислительных машин, баз данных», 2.2. «Практика», 3. «Итоговая аттестация».

## 2. Планируемые результаты освоения дисциплины, соотнесённые с планируемыми результатами освоения программы

| № п/п                           | Результаты освоения дисциплины   | Результаты освоения программы |
|---------------------------------|--|-------------------------------|
| <b>Аспирант должен знать:</b>   |  |                               |
| 1.                              | современные технологии получения наблюдательных данных для объектов с аккреционными дисками в оптическом и рентгеновском диапазонах; | РД-1, РД-2, РД-3, РД-4        |
| 2.                              | методы теоретического анализа оптических и рентгеновских наблюдений аккреционных дисков;   | РД-1, РД-2                    |
| 3.                              | методы оценок и определения физических параметров аккреционных дисков.   | РД-1, РД-2                    |
| <b>Аспирант должен уметь:</b>   |  |                               |
| 4.                              | использовать методики анализа наблюдательных данных;   | РД-1, РД-2, РД-4              |
| 5.                              | использовать всемирные банки информации при проведении исследований;   | РД-1, РД-4                    |
| 6.                              | корректно обрабатывать оптические спектры предложенных объектов;   | РД-1, РД-2, РД-4              |
| 7.                              | определять физические параметры аккреционных дисков.   | РД-1, РД-2, РД-4              |
| <b>Аспирант должен владеть:</b> |  |                               |
| 8.                              | навыками в обработке спектроскопических наблюдений аккреционных дисков;  | РД-1, РД-2, РД-4              |
| 9.                              | методиками анализа оптических и рентгеновских наблюдений;  | РД-1, РД-2, РД-4              |
| 10.                             | основными методами определения физических параметров аккреционных дисков;  | РД-1, РД-2                    |
| 11.                             | способами качественной и количественной оценки параметров изучаемых объектов, оценивать точность результатов.                        | РД-1, РД-2                    |

## 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 1/3 недели (72 часа).

| № п/п | Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах) |              |           | Формы контроля успеваемости |
|-------|---|---|--------------|-----------|-----------------------------|
|       |   | Лек.  | Практ. зан-я | Сам. раб. |                             |
| 1.    | Стандартные диски Шакуры-Сюняева.                             | 5   |              | 6         |                             |
| 2.    | Адвекционные диски с пониженным                               | 5   |              | 6         |                             |

| №<br>п/п      | Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание                 | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах) |            |             | Формы контроля успеваемости        |
|---------------|---|---|------------|-------------|------------------------------------|
|               |   |   |            |             |                                    |
|               | темпом аккреции и образованием струй.   |   |            |             |                                    |
| 3.            | Сверхкритические аккреционные диски.  | 5   |            | 6           |                                    |
| 4.            | Наблюдательные проявления аккреционных дисков. Тесные двойные системы.        | 5   | 2          | 6           | текущий контроль                   |
| 5.            | Наблюдательные проявления аккреционных дисков. Сверхмассивные черные дыры.    | 5   | 2          | 6           | текущий контроль                   |
| 6.            | Наблюдательные проявления сверхкритических аккреционных дисков. Объект SS433. | 5   | 2          | 6           | текущий контроль<br>итоговый зачет |
| <b>Итого:</b> |   | <b>30 ч</b>   | <b>6 ч</b> | <b>36 ч</b> | <b>72 ч</b>                        |

#### 4. Наименование и содержание практических занятий

| №<br>п/п      | Наименование работы   | Кол-во часов | Форма проведения   |
|---------------|---|--------------|--|
| 1.            | Тема 4. Наблюдательные проявления аккреционных дисков. Тесные двойные системы.        | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                   |
| 2.            | Тема 5. Наблюдательные проявления аккреционных дисков. Сверхмассивные черные дыры.    | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос                   |
| 3.            | Тема 6. Наблюдательные проявления сверхкритических аккреционных дисков. Объект SS433. | 2            | разноуровневые индивидуальные задания, опрос<br>итоговый зачет |
| <b>Итого:</b> |   | <b>6 ч</b>   |  |

#### 5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация

##### 5.1. Форма проведения текущего контроля успеваемости

Текущий контроль осуществляется по результатам работы на практических занятиях. Промежуточный контроль – быстрый опрос на лекциях.

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

Итоговый зачет проводится в рамках промежуточной аттестации.

Перед итоговым зачетом по дисциплине аспиранту необходимо полностью выполнить практические работы по дисциплине. При наличии задолженностей по практическим работам аспирант к итоговому зачету не допускается.

##### 5.2. Форма проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме итогового зачета по дисциплине. Итоговый зачет по дисциплине предусмотрен в устной форме.

Оценивание знаний обучающегося происходит по результатам устного ответа на один вопрос из перечня. На подготовку к ответу отводится 30 минут. При подготовке к ответу

аспиранту предоставляется право пользования программой дисциплины.

Итоговый контроль работы аспирантов проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине.

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

Отметка «незачет» выставляется в случае, если аспирант не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки в изложении основного материала, не может увязывать теорию с практикой.

### **5.3. Вопросы к зачету**

1. Каковы основные механизмы выделения энергии в аккреционных дисках?
2. Что такое адвекция излучения? Что такое адвекция тепла?
3. Каковы условия его формирования струй в адвекционных дисках?
4. Каковы условия формирования каналов и струй сверхкритических дисков?
5. Перечислите основные методы обработки оптических спектров, основные методы фотометрии?
6. Каковы методы обработки рентгеновских данных? Что такое среда XSPEC?
7. Опишите наблюдательные проявления тесных двойных систем.
8. Опишите основные отличия ТДС с белыми карликами, с нейтронными звездами и черными дырами?
9. Основные параметры аккреционных дисков у сверхмассивных черных дыр.
10. Наблюдательные проявления сверхкритических аккреционных дисков. Объект SS433
11. Основные механизмы и основные типы моделей рентгеновского излучения газа.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Перечень основной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Бисноватый-Коган Г.С. Релятивистская астрофизика и физическая космология, 2010, М. URSS
2. Fabrika S. the jets and supercritical accretion disk in SS433, 2004 UK, Cambridge
3. Фабрика С.Н., Атапин К.Е., Винокуров А.С., Шолухова О.Н. Ультраяркие рентгеновские источники. 2021, Астрофизический Бюллетень, том 76, №1, с. 6-42
4. Бескин В.С. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике, 2005, М. Физматлит
5. Rybicki G., Ligynman A., Radiative processes in astrophysics, 1979, USA, Wiley
6. Frank J., King A., Raine D., Accretion power in astrophysics, 2002, UK, Cambridge University
7. Морозов А.Г., Хоперсков А.В., Физика дисков, 2005, ВолГУ, Волгоград.

### **6.2. Перечень дополнительной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины**

1. Kallrath J., Milone E., Eclipsing binary stars, 1999, USA, Springer
2. Описание программы XSPEC <http://heasarc.nasa.gov/xanadu/xspec/>
3. Винокуров А.С., Спектроскопия туманностей и их моделирование с помощью фотоионизационного кода Cloudy, Методическое пособие, Нижний Архыз, 2014

### **6.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

- Пакет XSPEC для обработки рентгеновских данных  
<http://heasarc.nasa.gov/xanadu/xspec/>
- Сеть Астронет: <http://www.astronet.ru/db/msg/1169494/index.html#Contents>

- База данных по внегалактическим объектам: <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- Астрофизическая информационная система ADS - <https://ui.adsabs.harvard.edu/>
- База данных объектов за пределами Солн. с-мы SIMBAD <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Звездный каталог VIZIER - <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
- Цифровой обзор неба DSS - <http://archive.eso.org/dss/dss>
- Слоановский цифровой небесный обзор SDSS - <http://www.sdss.org>

#### **7. Перечень информационных технологий, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, профессиональных баз данных**

- Пакет XSPEC для обработки рентгеновских данных.

#### **8. Материально-техническое обеспечение**

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

#### **9. Особенности освоения дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких аспирантов.

Адаптированная рабочая программа входит в структуру адаптированной программы аспирантуры, которая разрабатывается под потребности конкретного обучающегося по его личному заявлению или решению комиссии по определению вида инклюзии и условий обучения сразу после зачисления такого аспиранта на 1 курс.

Порядок разработки адаптированной рабочей программы определяется локальным нормативным актом.