

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория  
Российской академии наук (ГАО РАН)**

Принято на заседании Ученого совета  
протокол от 19.08.19 № 5

УТВЕРЖДАЮ  
директор ГАО РАН

  
Н.Р. Ихсанов

## **ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**с/к «Радиоастрофизика солнечных и звездных вспышек»**

**направление подготовки – 03.06.01 «Физика и Астрономия»**

**профиль – 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»**

**профиль – 01.03.03 «Физика Солнца»**

Вариативная часть ООП

Дисциплина по выбору

Трудоемкость (границы трудоемкости) в зачетных единицах: 3

Форма отчетности аспирантов: устный дифференцированный зачет

Форма обучения: очная/ заочная

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель-исследователь.**

Санкт – Петербург  
2019 г.

## Раздел 1. Характеристики учебной программы

### 1.1. Цели и задачи учебных занятий:

Изучение эффективных методов радиодиагностики плазмы и магнитных полей на Солнце и звездах на основе исследования особенностей радиоизлучения солнечных и звездных вспышек и корональных арок с целью подготовки аспирантов к выполнению самостоятельных научных исследований в области солнечной и звездной радиоастрономии.

### 1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты):

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен иметь предварительную подготовку в объеме дисциплины «Астрофизика и звездная астрономия».

### 1.3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Радиоастрофизика солнечных и звездных вспышек» входит в вариативную часть учебного плана подготовки аспирантов и является дисциплиной по выбору по профилю 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия». Она необходима при подготовке научно-квалификационной работы аспиранта, при подготовке к итоговой государственной аттестации и подготовке к сдаче второй части кандидатского экзамена по специальности. Дисциплина осваивается аспирантами в 3 учебном году. Изучение данной дисциплины и специфика подачи отдельных вопросов может варьироваться в зависимости от индивидуального плана работы аспиранта, согласованного с его научным руководителем в целях оптимального соответствия решаемым задачам.

### 1.4. Перечень результатов обучения:

УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ПК-3

### 1.5. Язык преподавания

Русский

## Раздел 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1. Объем и структура учебных занятий:

Общая трудоемкость курса 3 з.е. На ее изучение отводится 108 часа (26 часов аудиторной работы, 82 часа отводится на самостоятельную работу, в том числе 26 — на подготовку к текущей и промежуточной аттестации). Форма промежуточной аттестации – зачет.

Вид учебной работы	Трудоемкость (в часах)
Аудиторные занятия	
Лекции	26
Внеаудиторные занятия	
Самостоятельная работа аспиранта	82
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>
Вид итогового контроля	Зачет

## 2.2. Содержание учебных занятий:

### 2.2.1 Аудиторные занятия

#### 1. Введение. Основные понятия.

1.1. История создания нового направления в астрофизике – Радиоастрофизика солнечных и звездных вспышек.

1.2. Объекты исследования - от вспышек на Солнце до супервспышек на звёздах поздних спектральных классов.

#### 2. Инструменты и методы.

2.1. Радиоинтерферометры, радиогелиографы, радиоспектрометры и поляриметры.

2.2. Современные инструменты для исследования источников солнечного и звездного радиоизлучения (NoRH, SRH, MUSER, EOVSА, ALMA, EVLA).

2.2. Основные характеристики радиоизлучения вспышек на Солнце и звездах поздних спектральных классов.

2.3. Механизмы и модели генерации радиоизлучения основных типов солнечных и звездных радиовсплесков.

2.4. Некоторые эффекты генерации и распространения радиоволн в неоднородной плазме солнечной короны: отрицательное поглощение, эффект Разина, инверсия поляризации (QT-эффект), эффект Фарадея.

2.4. Методы радиодиагностики параметров плазмы по наблюдаемым характеристикам их излучения.

#### 3. Вспышки и корональные выбросы массы (КВМ).

3.1. Современные представления о солнечных вспышках, КВМ и их излучениях.

3.2. Проблемы теории вспышечного энерговыделения и ускорения частиц.

3.3. Стандартная модель солнечной вспышки с токовым слоем.

3.4. Модели вспышки в скрученном магнитном жгуте.

3.5. Модель вспышечной петли, как эквивалентного электрического контура.

3.6. Накопление энергии в активных областях. Роль магнитных неустойчивостей.

Триггеры солнечных вспышек и СМЕ.

3.7. Фрагментация вспышечного энерговыделения и ускорения частиц.

3.8. Солнечные и звездные вспышки в белом свете. Вспышки на красных и коричневых карликах: наблюдения, механизмы и модели.

3.9. Современные представления о супервспышках на звездах.

#### 4. Кинетика энергичных частиц во вспышечных петлях.

4.1. Ускорение частиц в регулярных электрическом и магнитном полях. Стохастическое ускорение. Основные модели ускорения частиц в солнечных вспышках.

4.2. Распространение энергичных частиц в магнитоактивной плазме. Уравнение Фоккера-Планка.

4.3. Адиабатические инварианты. Потери энергии и рассеяние по питч-углам. Диффузия энергичных электронов на частицах и волнах.

4.4. Генерация плазменных волн неравновесными распределениями электронов.

Резонансные взаимодействия волна-частица. Квазилинейное приближение.

#### 5. Радидиагностика параметров вспышечной плазмы на основе данных наблюдений с высоким пространственным разрешением.

5.1. Влияние эффектов распространения энергичных электронов во вспышечной петле на характеристики их микроволнового излучения.

5.2. Диагностика места ускорения и типа питч-угловой анизотропии энергичных электронов по типу распределения яркости, частотного спектра и поляризации микроволнового излучения во вспышечной петле.

5.3. Использование пакета программ GX-Simulator для расчета характеристик микроволнового излучения в радиоисточнике по заданным параметрам плазмы и энергичных электронов.

5.4. Метод автоматизированного восстановления параметров вспышечной плазмы радиоисточника по характеристикам излучения.

### 2.2.2. Самостоятельная работа

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме повторение лекционного материала по темам, чтение рекомендованной литературы и научной периодики. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны широко использовать библиотечные фонды ГАО РАН, электронные ресурсы Интернета, доступ к которым им обеспечен. На программу самостоятельной работы по курсу выделяется 82 часа, в том числе на подготовку к текущей и промежуточной аттестации — 26 часов.

## Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

### 3.1. Методическое обеспечение:

#### 3.1.1. Методическое обеспечение самостоятельной работы:

Учебный процесс обеспечивается наличием учебной и учебно-методической литературы и доступом к иным библиотечно-информационным ресурсам, что гарантирует возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. ГАО РАН располагает библиотекой, включающей научно-техническую литературу по дисциплине, журналы с научными статьями и материалами симпозиумов и конференций, а также имеет договор с БАН. Аспирантам предоставляются компьютеры с доступом к сети Интернет и доступ к постоянной электронной подписке ГАО РАН на ведущие научные журналы.

#### 3.1.2. Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерий оценивания:

Виды текущего контроля: проверка качества усвоения знаний проводится как в устной, так и в письменной форме: конспекты, беседы по прочитанной литературе, подготовка и обсуждение вопросов в соответствии с темами занятий.

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет в виде устного ответа. Три вопроса, время на подготовку – один час.

#### 3.1.3. Методические материалы для проведения промежуточной аттестации:

*Список вопросов для промежуточной аттестации:*

- Принципы радиогелиографических наблюдений солнечных вспышек.
- Тепловое и нетепловое излучение. Когерентный и некогерентный (спонтанный) процессы генерации излучения.
- Резонанс волна-частица. Основные формулы.
- Механизмы и модели генерации радиоизлучения основных типов солнечных и звездных радио-всплесков.
- Типы магнито-тормозного излучения и их особенности. Эффект Разина.

- Распространение волн в плазме. Основные типы волн в плазме.
- Основные модели солнечных и звездных вспышек.
- Триггеры солнечных вспышек и СМЕ.
- МГД-колебания и неустойчивости магнитных плазменных трубок. Кинк-неустойчивость. Неустойчивость Рэля-Тейлора.
- Квазипериодическая модуляция микроволнового излучения МГД колебаниями магнитных петель.
- Механизмы ускорения электронов в солнечных вспышках.
- Распространение заряженных частиц в магнитной ловушке. 1-ый адиабатический инвариант.
- Кинетическое уравнение для частиц в магнитной ловушке. Уравнение Фоккера-Планка.
- Типы питч-угловой анизотропии быстрых электронов в магнитном поле. Кинетические неустойчивости в плазме солнечной короны. Пучковая и конусная неустойчивости в корональных магнитных петлях.
- Влияние питч-угловой анизотропии излучающих электронов на интенсивность, спектр и поляризацию некогерентного гиросинхротронного излучения.

#### Критерии оценки промежуточной аттестации:

Оценка	Оценка	Процент	Критерий
Зачет	5	90-100	Ответ полный, соответствует поставленному вопросу, логично и последовательно изложен. В нем проявляется самостоятельность мышления отвечающего, умение интегрировать знания из разных областей знания, умение соотносить теоретический материал с практикой.
	4	82-89	Ответ полный, соответствует поставленному вопросу, логично и последовательно изложен. В нем проявляется самостоятельность мышления отвечающего, умение интегрировать знания из разных областей знания, не всегда проявляется умение соотносить теоретический материал с практикой.
		75-81	Ответ в достаточной степени соответствует поставленному вопросу, логично и последовательно изложен. Аспиранту не всегда удается интегрировать знания из разных областей знания для полного освещения вопроса.
	3	67-74	Частичное раскрытие содержания вопроса.
		60-66	Демонстрация общего понимания курса.
Незачет		менее 60	Незнание материала курса.

#### Критерии оценки уровня освоения универсальных и общепрофессиональных умений (компетенций):

Уровень освоения	Расшифровка
Базовый (обязательный для всех слушателей –	Аспирант способен к критическому анализу и оценке современных научных

аспирантов по завершении освоения ООП)	<p>достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>Готов участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач, готов использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках.</p>
Продвинутый	<p>Аспирант способен выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач. Способен планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, в том числе с применением информационно-коммуникационных технологий.</p>

**Критерии оценки уровня освоения профессиональных умений (компетенций):**

Уровень освоения	Расшифровка
<p>Базовый (обязательный для всех слушателей – аспирантов по завершении освоения ООП)</p>	<p>Аспирант способен самостоятельно получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования; выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач.</p> <p>Владеет современными методами проведения фундаментальных научных исследований, навыками анализа, обобщения и публичного представления результатов выполненных научных исследований.</p> <p>Свободно пользуется библиотечными и электронными ресурсами для совершенствования знаний.</p>
Продвинутый	<p>Аспирант в большей степени способен и готовность к организации проведения фундаментальных научных исследований в области физики и астрономии с использованием современных методов и технологий.</p> <p>По своим должностным обязанностям может решать проблему, принимать стратегические, в т.ч. организационно-управленческие решения.</p>

**3.2. Кадровое обеспечение**

Преподаватель – кандидат или доктор физ.-мат. наук по специальностям 01.03.01 «Астрометрия и небесная механика», 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия» или 01.03.03 «Физика Солнца».

### 3.3. Материально-техническое обеспечение:

- 3.3.1. В лекционной аудитории имеется возможность подключения медиа-проектора, компьютера/ноутбука, а также имеется экран и маркерная доска.
- 3.3.2. Телескопы ГАО РАН и горной астрономической станции ГАО РАН в Кисловодске.
- 3.3.3. Научная литература: постоянная электронная подписка организации на ведущие журналы; научная литература, хранящаяся в БАН.
- 3.3.4. Читальный зал для самостоятельной работы аспиранта
- 3.3.5. Аудитория для самостоятельной работы аспирантов обеспечена компьютерами с выходом в Интернет.

### 3.4. Информационное обеспечение:

#### 3.4.1. Список обязательной литературы:

1. Р.Е. Гершберг. Активность солнечного типа звезд главной последовательности. Симферополь: Антиква, 2015. 613 с. ISBN 978-5-9906277-0-3.
2. Введение в радиоастрономию Солнца : монография / А. Т. Алтынцев, Л. К. Кашапова. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 203 с. – (Солнечно-земная физика).
3. А.Р.Томпсон, Дж.М.Моран, Дж.У.Свенсон «Интерферометрия и синтез в радиоастрономии» М.Физматлит 2003.
4. Уилсон Т.Л., Рольфс К., Хюттемейстер С. Инструменты и методы радиоастрономии, 2013. 568 с.
5. В.В.Железняков «Излучение в астрофизической плазме», М.Янус-К 1997.
6. А.В. Степанов, В.В. Зайцев. Магнитосферы активных областей Солнца и звезд. М.Физматлит 2018, 388 стр.
7. Huang, G., Melnikov, V.F., Ji, H., Ning, Z. "Solar Flare Loops: Observations and Interpretations". Publisher: Springer Singapore, 2018, 424p.
8. A.V. Stepanov, V.V. Zaitsev, V.M. Nakariakov Coronal Seismology: Waves and Oscillations in Stellar Coronae. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co, 221 p. (2012).

#### 3.4.2. Список дополнительной литературы:

1. Melnikov V.F., K. Shibasaki, V.E. Reznikova. "Loop-top nonthermal microwave source in extended flaring loops." - Astrophysical Journal., 2002, V.580, pp.L185-L188.
2. Fleishman G.D., and V.F. Melnikov. "Gyrosynchrotron Emission from Anisotropic Electron Distributions." - ApJ, 2003, V. 587, PP. 823–835
3. Melnikov V.F. , Reznikova V.E. , Shibasaki K. , Nakariakov V.M. Spatially resolved microwave pulsations of a flare loop. - Astron. Astrophys. – 2005, V.439, No.2, pp. 727-736.
4. M.M. Katsova, · M.A. Livshits. The Origin of Superflares on G-Type Dwarf Stars of Various Ages. – Solar Physics, 2015, V. 290, pp.3663–3682.

#### 3.4.3. Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека по физике и астрономии - [adsabs.harvard.edu](http://adsabs.harvard.edu)
2. Электронная библиотека по физике и астрономии - <http://arxiv.org/archive/astro-ph>