



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра радиопизики и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/ Н.М. Буднев

“17” апреля 2024 г.



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: **Специальные вопросы космической радиопизики**

Научная специальность: **1.3.4 Радиопизика**

Форма обучения очная

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 42 от “15” апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
радиопизики и радиоэлектроники

Протокол № 8
от “8” апреля 2024 г.

И.о. зав. кафедрой к.ф.-м.н., доцент
С.Н. Колесник

Иркутск 2024 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):.....	3
3. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
4. Содержание дисциплины (модуля)	4
4.1. <i>Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)</i>	4
4.2 <i>Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий</i>	6
4.3. <i>Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ</i>	8
5. Примерная тематика рефератов (при наличии).....	8
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	9
а) <i>основная литература</i>	9
б) <i>дополнительная литература</i>	9
в) <i>программное обеспечение</i>	10
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	10
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	10
8. Образовательные технологии.....	10
9. Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....	11
9.1. <i>Оценочные средства текущего контроля</i>	11
9.2. <i>Оценочные средства для промежуточной аттестации</i>	13

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Дисциплина «Специальные вопросы космической радиофизики» направлена на изучение особенностей распространения радиоволн различных диапазонов в неоднородной космической плазме и освоению методов дистанционной диагностики плазменной среды по данным радиофизических наблюдений.

Цель курса – дать аспирантам современные представления об эффектах воздействия плазменных неоднородностей на процессы распространения и рассеяния радиоволн в ионосфере, солнечной короне, межпланетной и межзвездной плазме; познакомить с методами решения задач дистанционной радиодиагностики космической плазмы; рассмотреть актуальные проблемы, существующие в данной области радиофизики.

Задачи курса

- познакомить аспирантов с современными представлениями о радиофизических моделях неоднородной структуры ионосферы, солнечной короны, межпланетной и межзвездной плазмы.
- научить аспирантов проводить расчеты радиофизических эффектов неоднородностей космической плазмы при распространении и рассеянии радиоволн различных диапазонов.
- сформировать у аспирантов умение и навыки оценки параметров плазменных неоднородностей по характеристикам сигналов дистанционного радиозондирования.

2. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

В результате изучения дисциплины «Специальные вопросы космической радиофизики» аспиранты должны:

- Знать:** основные положения теории распространения и рассеяния радиоволн различных диапазонов в неоднородной космической плазме;
основные методы решения задач дистанционной радиодиагностики плазменных неоднородностей.
- Уметь:** Использовать теорию для предсказания вариаций характеристик распространения радиосигналов на дальних космических трассах и при проектировании современных радиосистем для мониторинга состояния космической плазмы;
- Владеть:** навыками постановки и решения прямых и обратных задач распространения и рассеяния радиоволн в неоднородной плазме ближнего и дальнего космоса.

3. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Курсы			
		1	2	3	4
Аудиторные занятия (всего)	16		16		
В том числе:	-		-	-	-
Лекции	8		8		
Практические занятия (ПЗ)	8		8		
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)					
Самостоятельная работа (всего)	18		18		
В том числе:	-		-	-	-
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
Решение задач	18		18		
Контактная работа во время промежуточной аттестации	2		2		
Вид промежуточной аттестации (<u>зачет</u> , экзамен)			Зач		
Общая трудоемкость часы зачетные единицы	36		36		
	1		1		

4. Содержание дисциплины (модуля)

4.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Тема 1. Принципы построения радиофизических моделей неоднородной структуры космической плазмы.

Тема 2. Современные представления о неоднородной структуре плазмы космического пространства (ионосферы, солнечной короны, межпланетной и межзвездной среды) по данным радиофизических наблюдений.

Тема 3. Особенности влияния неоднородностей диэлектрической проницаемости околоземной и космической плазмы на распространение и рассеяние радиоволн.

3.1 Возможности и ограничения лучевого приближения для расчета воздействий плазменных неоднородностей на формирование пространственно-временной структуры электромагнитного поля.

3.2 Имитационное моделирование рассеяния радиоволн в случайно-неоднородной плазме.

3.3 Особенности волновых катастроф в неоднородном Космосе. Методы расчета волнового поля в присутствии регулярных и случайных каустик.

3.4 Комбинированные методы расчета волнового поля с учетом рассеяния радиоволн в космической плазме и на шероховатых поверхностях небесных тел. Планетарные радары.

3.6 Особенности распространения и рассеяния радиоволн различных диапазонов в околоземной и космической плазме.

3.7 Распространение и рассеяние радиоволн в возмущенных условиях. Фокусировка радиоизлучений дискретных источников на крупномасштабных плазменных неоднородностях. Влияние солнечных вспышек и корональных выбросов массы на распространение и рассеяние радиоволн.

3.8 Влияние гравитационных полей на распространение радиоволн в космической плазме. Гравитационный потенциал звезд и галактик. Геометрооптические эффекты гравитационных линз. Дифракция и рассеяние радиоволн на неоднородностях гравитационного поля.

Тема 4. Методы диагностики неоднородностей космической плазмы по данным радиофизических наблюдений.

4.1 Возможности и ограничения метода мерцаний.

4.2 Методы просвечивания околосолнечной, межпланетной и межзвездной плазмы радиоизлучением пульсаров и квазаров.

4.3 Особенности радиозондирования короны и солнечного ветра когерентными сигналами с космических аппаратов.

4.4 Радиозатменный метод глобального контроля состояния околопланетной плазмы.

4.5 Использование солнечных радиовсплесков для определения неоднородной структуры короны и солнечного ветра.

4.6 Возможности РСДБ-интерферометрии для диагностики межпланетной и межзвездной плазмы.

4.7 Гравитационное линзирование радиоизлучения дискретных источников как метод восстановления структурных особенностей гравитационного потенциала звезд и галактик.

Тема 5. Радиоизлучение каскадных ливней от космических лучей высоких и сверхвысоких энергий.

5.1 Наземное радиодетектирование широких атмосферных ливней (ШАЛ).

5.2 Трансформация радиоизлучения ШАЛ в околоземной плазме.

5.3 Представления о корреляционных связях потоков космических лучей и состояния неоднородной структуры околоземного и околосолнечного пространства.

5.4 Особенности потоков космических лучей в условиях возмущенной гелиосферы.

5.5 Радиоастрономический метод измерения потоков космических частиц высоких и сверхвысоких энергий.

4.2 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Радиофизические модели неоднородной структуры плазмы ближнего и дальнего Космоса	1. Принципы построения радиофизических моделей космической плазмы 2. Современные представления о неоднородной структуре плазмы космического пространства	1	1				2
2.	Эффекты неоднородностей приземной плазмы при распространении радиоволн	1. Особенности распространения и рассеяния радиоволн различных диапазонов в околоземной плазме. 2. Волновые катастрофы в ближнем Космосе	2	2				4
3.	Особенности влияния неоднородностей космической плазмы на распространение радиоволн	1. Рефракция и рассеяние радиоволн в солнечной системе. 2. Рефракционные эффекты неоднородностей межзвездной плазмы в структуре сигналов	1	1				2

		удаленных радиосточников						
4.	Методы диагностики неоднородностей приземной и космической плазмы по данным радиофизических наблюдений	1. Методы радиозондирования плазмы когерентными сигналами с космических аппаратов. 2. Методы радиопросвечивания плазмы сигналами дискретных космических источников	2	2				4
5.	Эффекты гравитационных полей при распространении электромагнитных волн	1. Гравитационное линзирование и фокусировка электромагнитных волн. 2. Стохастическое замывание гравитационных эффектов под воздействием неоднородностей космической плазмы	1	1				2
6.	Радиоизлучение каскадных ливней от космических лучей высоких и сверхвысоких энергий	1. Наземное радиодетектирование широких атмосферных ливней (ШАЛ). 2. Радиоастрономический метод измерения потоков космических частиц высоких и сверхвысоких энергий.	1	1				2

4.3. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1.	2, 3	Количественная оценка эффектов воздействия плазменных неоднородностей на распространение радиоволн различных диапазонов	2	Собесед. реш.зад
2.	4	Диагностика неоднородностей приземной и космической плазмы по данным радиофизических наблюдений	2	Собесед. реш.зад
3.	5	Расчет эффектов гравитации при распространении электромагнитных волн	2	Собесед. реш.зад
4.	6	Оценка влияния плазменной среды на распространение радиоимпульса каскадного ливня от космических лучей сверхвысоких энергий	2	Собесед. реш.зад

5. Примерная тематика рефератов (при наличии)

Рефераты не предусмотрены.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

Программой предусмотрено использование современных образовательных технологий: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедийные, использование документальных видеоматериалов).

а) основная литература

1. Яковлев О.И. и др. Распространение радиоволн. Изд: ЛЕНАНД .2009. (4 экз.)
2. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск:ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН.- 2006.- 480 с. (5 экз.)
3. Алтынцев А.Т. Введение в радиоастрономию Солнца / А. Т Алтынцев, Л. К. Кашапова. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - 203 с. (16 экз.)
4. Спутниковое декаметровое радиозондирование ионосферных неоднородностей: монография / Н.Т. Афанасьев, В.П. Марков. Иркутск: Изд-во "ИГУ", 2015.-127 с. (20 экз)
5. Сотникова Р.Т. Введение в физику Солнца [Текст] : учеб. пособие: в 2 ч. / Р. Т. Сотникова [и др.] ; рец.: А. Г. Тлатов, С. А. Язев ; Иркутский гос. ун-т, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Иркутский науч. центр, Ин-т солнечно-земной физики. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2010 - . - 20 см. - ISBN 978-5-9624-0621-3. Ч. 2. - 2012. - 195 с. : ил. - Библиогр.: с. 193-195. - ISBN 978-5-9624-0622-0. – (16 экз.)
6. Сотникова, Раиса Тимофеевна. Введение в гелиофизику [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. ВПО 011200 - Физика / Р. Т. Сотникова, В. Г. Файнштейн ; рец.: В. Н. Обридко, А. Г. Тлатов ; Иркутский гос. ун-т, СО РАН, Ин-т солн.-земной физики. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - 256 с. : ил. ; 20 см. - (Солнечно-земная физика). - Библиогр.: с. 205-208. - ISBN 978-5-9624-0821-7. – (4 экз.)
7. Малов И.Ф. Радиопульсары. М.: Наука, 2004. - 191 с.(2 экз.)

б) дополнительная литература

1. Солнечная система / ред., сост. В. Г. Сурдин. - М. : Физматлит, 2008. - 398 с. : ил. ; 21 см. - (Астрономия и астрофизика). - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-9221-0989-5. – (3 экз)
2. Аннушкин, Юрий Вячеславович. Введение в астрономию. Физика солнечной системы [Текст] : учеб. пособие / Ю. В. Аннушкин, С. А. Язев ; рец.: П. Г. Ковадло, Р. Т. Сотникова ; Иркут. гос. ун-т, Физ. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - 103 с. ; 21 см. - (Солнечно-земная физика). - Библиогр.: с. 103. - ISBN 978-5-9624-0886-6. – (18 экз)
3. Теплицкая, Раиса Бенционовна. Солнечная атмосфера [Текст] : учеб. пособие / Р. Б. Теплицкая ; рец.: В. А. Пархомов, В. Г. Файнштейн ; Иркутский гос. ун-т, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т солнечно-земной физики. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - 128 с. : ил. ; 20 см. - (Солнечно-земная физика). - Библиогр.: с. 128. - ISBN 978-5-9624-0878-1. – (2 экз.)
4. Малов И.Ф. Механизмы космического излучения : учеб. пособие / И. Ф. Малов ; Пуцинский ун-т, РАН, Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева. - М. : Либроком, 2010. - 158 с. (2 экз.)

в) программное обеспечение пакеты MS Office

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНИТИ (<http://www.viniti.ru>)
- Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>)
- ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Методическим оформлением курса является использование современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео, документальные фильмы), дистанционных. Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в области космической радиофизики.

8. Образовательные технологии:

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности аспирантов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих аспирантов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью аспирантов осуществляется на лекционных и практических занятиях в виде самостоятельных работ

Программой предусмотрено использование современных образовательных технологий: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, документальное видео).

9. Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Для изучения данного курса аспирант должен знать основы физики, радиофизики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль знаний не проводится.

План самостоятельной работы аспирантов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Все темы	- изучение теоретической составляющей практических заданий; - оформление результатов; - подготовка к защите конкретного задания	- ответить на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	16
2.	Все темы	Подготовка к зачету		Вся рекомендуемая литература	1
3.	Текущие консультации				1

Методические указания по организации самостоятельной работы аспирантов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у аспирантов-выпускников способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие аспирантов в практических занятиях, выполнения контрольных заданий и тестов, написания и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа аспирантов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) В процессе семинарских занятий и при выполнении лабораторных работ.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении аспирантом учебных и творческих задач.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа аспирантов может быть как в аудитории, так и вне ее.

9.1. Оценочные средства текущего контроля

Текущий контроль успеваемости аспирантов осуществляется по следующим критериям оценивания:

1) Пороговый уровень:

- (знание) дает определения основных понятий
 - воспроизводит основные физические факты, идеи
 - распознает физические объекты
 - знает основные методы решения типовых задач
- (умение) умеет работать со справочной литературой
- (владение) владеет терминологией предметной области знания
 - способен корректно представить знания в математической форме

2) Базовый уровень

- (знание) понимает связи между различными физическими понятиями
- имеет представление о физических моделях процессов распространения радиоволн в околоземной и космической плазме.
- аргументирует выбор метода решения задачи; составляет план решения задачи
- графически иллюстрирует задачу
- (умение) применяет методы решения задач в незнакомых ситуациях;
- умеет корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания
- (владение) критически осмысливает полученные знания
- способен корректно представить знания в математической форме
- компетентен в различных ситуациях (работа в междисциплинарной команде)
- владеет разными способами представления физической информации

3) Высокий уровень

- (знание) фактически и теоретически знает материал курса в пределах области исследования с пониманием границ применимости (знания глубокие, всесторонние)
- (умение) творчески подходит к решению физических задач (как теоретических, так и практических)
- умеет абстрагировать проблемы, с которыми сталкивается при решении различных задач;
- (владение) может самостоятельно оценивать результаты своей работы;
- способен совершенствовать действие работы, исходя из собственной оценки результатов
- соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения

Пример практического задания

ЗАДАНИЕ 1. Гравитационное линзирование электромагнитных волн

УСТНО:

1. Представления о гравитационном потенциале звезд и галактик.
2. Рефракция и дифракция электромагнитных волн при распространении в слабых

гравитационных полях.

ПИСЬМЕННО:

1. Используя лучевые уравнения и эффективный показатель преломления вакуума в Евклидовом пространстве, получить формулу Эйнштейна для угла максимальной рефракции электромагнитной волны в гравитационном поле звезды с заданным радиусом Шварцшильда.
2. В приближении геометрической оптики определить групповое запаздывание импульса пульсара в гравитационном поле Солнца.

9.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Примерный список вопросов к зачету:

- 1) Радиофизические модели неоднородностей ионосферной плазмы.
- 2) Радиофизические модели неоднородной структуры солнечной короны, межпланетной и межзвездной среды.
- 3) Лучевое приближение для расчета воздействий плазменных неоднородностей на формирование пространственно-временной структуры электромагнитного поля.
- 4) Имитационное моделирование рассеяния радиоволн в случайно-неоднородной космической плазме.
- 5) Волновые катастрофы в неоднородном Космосе. Методы расчета волнового поля в присутствии регулярных и случайных каустик.
- 6) Комбинированные методы расчета волнового поля с учетом рассеяния радиоволн в космической плазме и на шероховатых поверхностях небесных тел.
- 7) Планетарные радары.
- 8) Особенности распространения и рассеяния радиоволн различных диапазонов в околоземной плазме.
- 9) Эффекты неоднородностей космической плазмы при распространении радиоволн.
- 10) Распространение и рассеяние радиоволн в возмущенных гео-гелиофизических условиях.
- 11) Фокусировка радиоизлучений дискретных источников на крупномасштабных плазменных неоднородностях.
- 12) Влияние солнечных вспышек и корональных выбросов массы на распространение и рассеяние радиоволн.
- 13) Влияние гравитационных полей на распространение радиоволн в космической плазме. Гравитационный потенциал звезд и галактик. Рефракционные и дифракционные эффекты гравитационных линз.
- 14) Методы диагностики неоднородностей космической плазмы по данным радиофизических наблюдений.
- 15) Возможности и ограничения метода мерцаний.
- 16) Методы просвечивания околосолнечной, межпланетной и межзвездной плазмы радиоизлучением пульсаров и квазаров.
- 17) Особенности радиозондирования короны и солнечного ветра когерентными сигналами с космических аппаратов.
- 18) Радиозатменный метод глобального контроля состояния околопланетной плазмы.
- 19) Использование солнечных радиовсплесков для определения неоднородной структуры короны и солнечного ветра.
- 20) Возможности РСДБ-интерферометрии для диагностики межпланетной и межзвездной плазмы.
- 21) Гравитационное линзирование радиоизлучения дискретных источников как метод восстановления структурных особенностей гравитационного потенциала звезд и галактик.
- 22) Радиоизлучение каскадных ливней от космических лучей высоких и сверхвысоких энергий.
- 23) Наземное радиодетектирование широких атмосферных ливней (ШАЛ).
- 24) Трансформация радиоизлучения ШАЛ в околоземной плазме.

- 25) Представления о корреляционных связях потоков космических лучей и состояния неоднородной структуры околоземного и околосолнечного пространства.
- 26) Особенности потоков космических лучей в условиях возмущенной гелиосферы. Форбуш-эффект.
- 27) Радиоастрономический метод измерения потоков космических частиц высоких и сверх-высоких энергий.

Оценка степени сформированности компетенций аспиранта основывается конкретностью и полнотой его ответов при выполнении заданий и упражнений итогового контроля знаний. Дополнительные вопросы и их число определяется необходимостью объективной оценкой уровня освоения аспиранта изучаемой дисциплины.

Оценка "Зачтено" выставляется аспиранту, который усвоил весь программный материал, исчерпывающе, грамотно и по существу его излагает, не допуская существенных неточностей в ответах на вопросы, умело применяет теоретические положения при решении практических вопросов и заданий, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка "Не зачтено" выставляется аспиранту, который не может ответить на ключевые вопросы программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями и ошибками выполняет практические задания.

Разработчики:

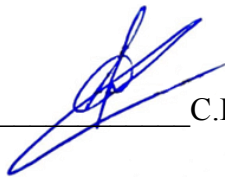


профессор, д.ф.-м.н.

Н.Т. Афанасьев

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники ИГУ
«8» апреля 2024 г.

Протокол № 8, и.о. зав.кафедрой _____ С.Н. Колесник



Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.