



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра общей и космической физики



УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

Н.М. Буднев

2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: **Физика солнечной атмосферы**

Научная специальность: **1.3.1 Физика космоса, астрономия**

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол №38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель  Буднев Н.М.

Рекомендовано кафедрой:
общей и космической физики

Протокол № 8
от « 15 » марта 2023 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор
 Паперный В.Л.

Иркутск 2023 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
<i>4.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)</i>	<i>4</i>
<i>4.2 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий</i>	<i>5</i>
<i>4.3. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ</i>	<i>7</i>
5. Примерная тематика рефератов (при наличии).....	7
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):.....	8
<i>а) основная литература.....</i>	<i>8</i>
<i>б) дополнительная литература</i>	<i>8</i>
<i>г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	<i>9</i>
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):	9
8. Образовательные технологии:	9
9. Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....	10

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Курс «Физика солнечной атмосферы» является важной частью универсальной базы для изучения специальных дисциплин, вооружает аспирантов необходимыми знаниями для решения теоретических и прикладных аспектов научных задач, знакомит с синтезом первоначально несвязанных идей и подходов и формированием фундаментального направления в астрофизике.

Основная *цель* курса – дать аспирантам основные представления о характеристиках атмосферы Солнца и методах ее изучения.

Для достижения данной цели поставлены *задачи*:

- изучить основные параметры солнечной атмосферы
- познакомиться с основными методами исследований, применяемыми в гелиофизике, включая спектроскопию.

2. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

В результате изучения дисциплины «Физика солнечной атмосферы» аспиранты должны:

Знать:

- основные физические параметры трех слоев солнечной атмосферы;
- базовые принципы солнечной спектроскопии;
- феноменологию явлений и структурных образований в фотосфере, хромосфере и короне Солнца в разных диапазонах спектра электромагнитного излучения;
- основные понятия теории излучения в атмосфере Солнца;
- принципы моделирования атмосферы Солнца;

Уметь:

- применять полученные знания для интерпретации физических процессов на Солнце;
- пользоваться основными формулами гелиофизики.

Владеть, иметь представление

- о процессах, происходящих в атмосфере Солнца;
- о наземных и космических методах экспериментальных исследований солнечной атмосферы.

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)

1. Общие характеристики солнечной атмосферы
 - 1.1. Строение Солнца и его атмосферы
 - 1.2. Физические параметры разных слоев Солнца
2. Спектроскопия как основной метод наблюдений атмосферы Солнца
 - 2.1. Наблюдаемый наземными средствами диапазон солнечного спектра
 - 2.2. Основные типы инструментов, применяемых при наблюдениях атмосферы Солнца
3. Основные понятия теории переноса излучения в атмосфере Солнца
 - 3.1. Параметры, регулирующие поле излучения
 - 3.2. Уравнение переноса излучения
 - 3.3. Уравнение лучистого равновесия

3.4. Физические процессы, приводящие к поглощению и переизлучению энергии

4. Принципы моделирования атмосферы Солнца

4.1. Термодинамическое состояние солнечной атмосферы

4.2. Значение моделирование солнечной атмосферы

4.3. Основные уравнения при моделировании плоскопараллельных атмосфер

4.4. Основные одномерные модели фотосферы и хромосферы

4.5. Радиативно-гидродинамические модели

4.6. 3D-моделирование солнечной атмосферы

5. Структура фотосферы и хромосферы

5.1. Грануляция

5.2. Колебания и волны

5.3. Супергрануляция и хромосферная сетка

5.4. Химический состав фотосферы и хромосферы Солнца

6. Солнечная корона

6.1. Корона в белом свете

6.2. Корона в рентгеновских лучах

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.	Общие характеристики солнечной атмосферы	1.1. Строение Солнца и его атмосферы 1.2. Физические параметры разных слоев Солнца	1	1				2
2.	Спектроскопия как основной метод наблюдений атмосферы Солнца	2.1. Наблюдаемый наземными средствами диапазон солнечного спектра 2.2. Основные типы инструментов, применяемых при наблюдениях атмосферы Солнца	2	2				4
3.	Основные понятия теории	3.1. Параметры, регули-	1	1				2

	переноса излучения в атмосфере Солнца	рующие поле излучения 3.2. Уравнение переноса излучения 3.3. Уравнение лучистого равновесия 3.4. Физические процессы, приводящие к поглощению и переизлучению энергии						
4.	Принципы моделирования атмосферы Солнца	4.1. Термодинамическое состояние солнечной атмосферы 4.2. Значение моделирование солнечной атмосферы 4.3. Основные уравнения при моделировании плоскопараллельных атмосфер 4.4. Основные одномерные модели фотосферы и хромосферы 4.5. Радиативно-гидродинамические модели 4.6. 3D-моделирование солнечной атмосферы	2	2				4
5.	Структура фотосферы и хромосферы	5.1. Грануляция 5.2. Колебания и волны 5.3. Супергрануляция и хромосфер-	1	1				2

		ная сетка 5.4. Химический состав фотосферы и хромосферы Солнца						
6.	Солнечная корона	6.1. Корона в белом свете 6.2. Корона в рентгеновских лучах	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	Спектроскопия как основной метод наблюдений атмосферы Солнца	2	Собесед. реш.зад
2.	4	Принципы моделирования атмосферы Солнца	2	Собесед. реш.зад
3.	5	Структура фотосферы и хромосферы	2	Собесед. реш.зад
4.	6	Солнечная корона	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. 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.)
2. 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. Обридо, 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.)
3. Язев, Сергей Артурович. Феномен комплексов активности на Солнце [Текст] : научное издание / С. А. Язев ; рец.: В. М. Григорьев, В. Н. Обридо, А. Т. Алтынцев ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т солнечно-земной физики. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - 377 с. : ил. ; 20 см. - (Солнечно-земная физика). - Библиогр.: с. 337-364. - ISBN 978-5-9624-1089-0. – (8 экз.)
4. 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.)
5. Сотникова, Раиса Тимофеевна. Рентгеновские вспышки на Солнце [Текст] : научное издание / Р. Т. Сотникова ; рец.: В. Г. Файнштейн, В. Л. Паперный ; Иркутский гос. ун-т, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т солнечно-земной физики. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - 142 с. : цв. ил. ; 20 см. - (Солнечно-земная физика). - Библиогр.: с. 131-142. - ISBN 978-5-9624-0875-0. – (9 экз.)

б) дополнительная литература

1. Сотникова Р.Т. Введение в физику солнца [Текст] : учеб. пособие : в 2 ч. / Р. Т. Сотникова, Л. К. Кашапова ; Иркутский гос. ун-т, Физ. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2010 - . - 20 см. Ч. 1. - 2010. - 135 с. : ил. - Библиогр.: с. 121-123. – (11 экз.)
2. 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.)
3. 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.)

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 ВИНТИ (<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 звездной астрономии и гелиофизики.

8. Образовательные технологии:

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов 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 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 части практических заданий; - оформление результаты; - подготовка к защите	- 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

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных 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, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа аспирантов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, 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, самостоятельной 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 в солнечной атмосфере
 - 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

1. Перечислить основные характеристики дифракционных решеток, привести соответствующие формулы, используя рекомендованную литературу.
2. Вывести выражение для формального решения уравнения переноса излучения на произвольной оптической глубине.
3. Вывести выражения для потемнения излучения к краю диска Солнца.

4. Написать выражения для постоянной затухания при расширении спектральных линий за счет естественного затухания, а также за счет эффектов резонансного расширения, Штарка и ван дер Ваальса (используя рекомендованную литературу). Указать другие возможные причины расширения линий.
5. Вывести выражения для скоростей столкновительных переходов S_{ij} , S_{ji} при возбуждении спектральной линии атома в состоянии ионизации r за счет столкновения с электронами.
6. Вывести связь между газовым и электронным давлением в атмосфере, находящейся в состоянии гидростатического равновесия при известном химическом составе.
7. Показать, как найти геометрическую высоту уровня, ответственного за возбуждение конкретной спектральной линии? Использовать понятие о функциях вклада и отклика из рекомендованной литературы.
8. Показать, как вычисляются спектры фазы, мощности и когерентности, описывающие режим колебаний в атмосфере Солнца, с использованием рекомендованной литературы.
9. Показать, как рассчитываются радиативные потери энергии в спектральных линиях, с использованием рекомендованной литературы.
10. Показать, как рассчитывается поток энергии, переносимой волнами в хромосферу и корону, используя рекомендованную литературу.
11. Перечислить наиболее популярные линии и участки континуума, применяемые при диагностике солнечной атмосферы, объяснить, чем они полезны.

Пример тестовых заданий

1. *Каковы современные представления о внутреннем строении Солнца?*
 - а) ядро, мантия, кора
 - б) ядро, зона лучистого переноса, конвективная зона, фотосфера
 - в) ядро, конвективная зона, зона лучистого переноса, фотосфера
 - г) ядро, конвективная зона, фотосфера, хромосфера, корона
2. *Каково соотношение размеров внутренних слоев Солнца в долях радиуса?*
 - а) ядро 0.25, зона лучистого переноса 0.47, конвективная зона 0.28
 - б) ядро 0.20, зона лучистого переноса 0.70, конвективная зона 0.10
 - в) ядро 0.25, зона лучистого переноса 0.30, конвективная зона 0.45
 - г) ядро 0.20, зона лучистого переноса 0.35, конвективная зона 0.45
3. *Какова модельная температура ядра Солнца в градусах?*
 - а) 6000
 - б) 15 000 000
 - в) 2 000 000
 - г) 1 500 000
4. *Что станет с Солнцем в конце его эволюции?*
 - а) произойдет взрыв сверхновой
 - б) произойдет вспышка новой
 - в) Солнце станет белым карликом
 - г) Солнце станет черной дырой

5. *Что такое функция источника?*
 - а) суммарный поток излучения, пересекающий поверхность ядра Солнца
 - б) суммарный поток излучения, пересекающий поверхность фотосферы Солнца
 - в) отношение коэффициентов поглощения и излучения в плазме Солнца
 - г) коэффициент излучения в солнечной плазме
6. *Что отражает уравнение переноса излучения?*
 - а) закон сохранения энергии для поля излучения
 - б) закономерности распространения излучения в непрозрачной среде
 - в) закономерности распространения излучения в прозрачной среде
 - г) закономерности перемещения излучающего слоя
7. *С чем связан эффект «потемнения к краю» солнечного диска?*
 - а) из-за анизотропии свечения спикул
 - б) излучение в центре диска Солнца и на краю приходит с разной оптической глубины, где различаются температуры
 - в) излучение проходит через разную толщину обращаемого слоя
 - г) это кажущийся эффект, в реальности не существующий
8. *Где на Солнце выполняется условие лучистого равновесия?*
 - а) в средней фотосфере
 - б) в ядре
 - в) в конвективной зоне
 - г) в короне
9. *Какая формула описывает форму спектральной линии с учетом затухания излучения и хаотического движения частиц?*
 - а) формула Лоренца
 - б) функция Фойгта
 - в) уравнение лучистого равновесия
 - г) уравнение Шварцшильда-Милна
10. *Выполняется ли на Солнце термодинамическое равновесие?*
 - а) да
 - б) нет
 - в) выполняется в ядре
 - г) это неизвестно

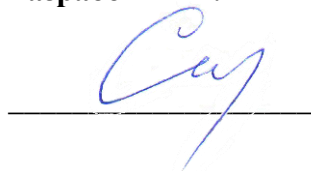
9.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Оценка степени сформированности компетенций аспиранта основывается конкретно-стью 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.
(занимаемая должность)

С.А., Язев
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
« 15 » марта 2023__г.

Протокол № 8, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

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

**Лист согласования, дополнений и изменений
на 2025/2026 учебный год**

К рабочей программе дисциплины «Физика солнечного атмосферы» по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия

1. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения:
Нет дополнений
2. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие изменения:
Нет изменений

Изменения одобрены УМК Физического факультета,
протокол № 50 от «22» апреля 2025 г.

Зав. кафедрой
общей и космической физики

 / В.Л. Паперный