

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН _____ А.В. Медведев

« 28 » марта 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

2.1.7 Физика Солнца

Научная специальность 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Иркутск 2025

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал доктор физико-математических наук	Кичатинов Л.Л.
---	----------------

1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика Солнца» входит в образовательный компонент основной профессиональной образовательной программы по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Дисциплина является обязательной для обучающихся в аспирантуре по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Знания и умения, приобретаемые аспирантами после изучения дисциплины, будут использоваться для решения научных задач на этапе получения и обработки экспериментального материала и направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена и к дальнейшей научной работе.

2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Физика Солнца» является получение фундаментальных знаний и возможности их использования в процессе дальнейшего обучения, при прохождении практик, написания научных работ, в своей научной деятельности.

Задачами дисциплины «Физика Солнца» является:

- знакомство аспирантов с физическими процессами на Солнце;
- понятиями и физическими основами солнечной активности;
- физическими механизмами воздействия солнечных факторов на околоземное космическое пространство и биосферу.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины «Физика Солнца» аспирант должен приобрести знания и умения, необходимые для его дальнейшего профессионального становления, а именно:

Знать:

- строение Солнца;
- глобальные характеристики Солнца как звезды;
- элементы теории солнечного динамо.

Уметь:

- качественно и количественно сопоставлять явления и процессы на Солнце с аналогичными явлениями и процессами на других звёздах;
- рассчитывать основные характеристики плазмы в различных областях Солнца;
- определять закономерности (корреляции, антикорреляции, периодичности) в солнечных наблюдениях.

Владеть:

- методами анализа информации, получаемой при астрономических наблюдениях;
- навыками применения современных теоретических моделей для интерпретации наблюдаемых на Солнце явлений.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы/108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
Аудиторные занятия (всего)	18/0,5
В том числе:	
Лекции	18/0,5
Семинары	
Самостоятельная работа (всего)	90/2,5
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет

Контактная работа (всего)	18/0,5
Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)	108/3

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и темы дисциплины (модуля)

Раздел 1. Строение и эволюция звезд

Темы: 1. Солнечно-звездные аналогии. 2. Происхождение звезд. 3. Протозвездные и протопланетные диски. 4. Проблемы углового момента и магнитного потока. 5. Источник энергии звезд. 6. Спектральные классы. 7. Эволюция звезд. 8. Происхождение «тяжелых» химических элементов. 9. Звездное население первого и второго типов. 10. Перенос энергии в звездах. 11. Лучистые и конвективные зоны. 12. Строение звезд солнечного типа.

Раздел 2. Вращение звезд

Темы: 1. Понятие о гелиосейсмологии. 2. Астеросейсмология. 3. Перемешивание вещества в лучистых зонах Солнца и звезд. 4. Бароклинная неустойчивость. 5. Замедление вращения звезд со временем и его связь с магнитной активностью. 6. Гирохронология. 7. Дифференциальное вращение Солнца. 8. Перенос углового момента в конвективной зоне звезды. 9. Дифференциальное вращение звезд. 10. Солнечный тахоклон. 11. Дифференциальное вращение и магнитная активность.

Раздел 3. Гидромагнитное динамо

Темы: 1. Уравнение индукции магнитного поля. 2. Возможность усиления магнитного поля течением проводящей жидкости. 3. Анти-динамо теоремы. 4. Динамо в лабораторных экспериментах. 5. Динамо и турбулентность. 6. Мелко- и крупномасштабное динамо. 7. Уравнение индукции среднего поля. 8. Турбулентная диффузия и альфа-эффект. 9. Турбулентность в конвективных оболочках Солнца и звезд. 10. Турбулентная диффузия и альфа-эффект на Солнце.

Раздел 4. Теория динамо солнечной активности. Геодинамо.

Темы: 1. Сценарий солнечного цикла. 2. Наблюдаемые свидетельства действия основных эффектов динамо на Солнце. 3. Современные модели солнечного динамо. 4. Солнечный цикл «в среднем». 5. Причины различия циклов активности. 6. Северо-южная асимметрия активности. 7. Активные долготы. 8. Вековой цикл. 9. Минимум Маундера. Глобальные минимумы и максимумы активности. 10. Магнитное поле земли. 11. Конвекция в жидком ядре. 12. Экскурсии и обращения знака магнитного диполя. Модели геодинамо.

5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия		СРС	Форма контроля
			Лекции	Практические занятия		
1	Строение и эволюция звезд	26	4		22	Зачет
2	Вращение звезд. Вращение и магнитная активность.	26	4		22	Зачет
3	Гидромагнитное динамо	26	4		22	Зачет
4	Теория динамо солнечной активности. Геодинамо	30	6		24	Зачет
Итого (часы)		108	18		90	
Итого (з.е.)		3	0,5		2,5	

5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых
-------	---	---

	практик	(последующих) дисциплин
1	Физика космоса, астрономия	Раздел 1, Т.5-8,10-11; Раздел 2, Т.1,5-6; Раздел 3, Т.1,2,6; Раздел 4, Т. 1,4-5, 7-9

5.3. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1	Строение и эволюция звезд	Лекция	4	Устный опрос Тестирование
2	Вращение звезд. Вращение и магнитная активность.	Лекция	4	Устный опрос Тестирование
3	Гидромагнитное динамо	Лекция	4	Устный опрос Тестирование
4	Теория динамо солнечной активности. Геодинамо	Лекция	6	Устный опрос Тестирование

5.4. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Данный вид занятий не предусмотрен

5.5. Перечень и содержание самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Рекомендуемая литература	Всего часов
1	Солнце как звезда и его внутреннее строение. Источник солнечной энергии. Ядерные циклы. Солнечные нейтрино. Лучистая зона Солнца. Спектральный класс, класс светимости, положение на диаграмме Герцшпрунга–Рассела. Химический состав Солнца. Связь содержания лития с перемешиванием вещества в недрах звезд.	Конспектирование	Основная литература: 1,2,3 Дополнительная литература: 1,2,3	22
2	Причины потери углового момента звездами. Замедление вращения со временем. Правило Скуманича. Гирохронология	Конспектирование	Основная литература: 1,2,3 Дополнительная литература: 1	22
3	Происхождение космических магнитных полей. Роль вращения и конвекции в магнитной активности звезд. Источник магнитной энергии звезд. Гидромагнитное динамо как неустойчивость. Мелкомасштабные и крупномасштабные магнитные поля. Звездные циклы активности.	Конспектирование	Основная литература: 1,2,3,4,5 Дополнительная литература: 1	22
4	Два основных эффекта геодинамо. Сценарий солнечного цикла. Глобальное магнитное поле Солнца. Обращения знака полярного поля. Солнечные пятна. Правила Хейла и Джоя. Индексы солнечной активности. Основной (11-летний) цикл. Вековой цикл. Минимум Маундера.	Конспектирование	Основная литература: 1,2,3,4,5 Дополнительная литература: 1,2	24

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Самостоятельная работа аспирантов заключается в изучении теоретического курса по итогам лекций, с использованием конспектов, учебников и ресурсов, доступных через Интернет.

Данный вид самостоятельной работы включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;
- при необходимости, индивидуальные консультации у преподавателя.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Плазменная гелиофизика. В 2-х томах. Под редакцией Л.М.Зеленого и И.С.Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ
2	Сомов Б.В. Космическая электродинамика и физика Солнца. М.: Изд-во МГУ, 1993.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ
3	Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ
4	Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ
5	Паркер Е. Космические магнитные поля. В 2-х частях. М.: Мир, 1982	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ

6.2. Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Кирко И.М., Кирко Г.Е., Магнитная гидродинамика. Современное видение проблем, Научно-изд. центр "Регулярная и хаотическая динамика", 2009.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ
2	Гетлинг А.В. Конвекция Рэлея-Бенара. М.: Эдиториал УРСС, 1999.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ;
3	Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, 4-е изд., М.: Наука, 1988.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ;
4	Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, Физматлит, 1967.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ;
5	Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики, 2-е изд. М.: Физматгиз, 1966.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ;

6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Данные отдела радиоастрофизики ИСЗФ СО РАН (<http://ssrt.iszf.irk.ru/indexru.shtml>)
- Архив наблюдений радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН

(<http://badary.iszf.irk.ru/>)

- База данных многолетних наблюдений солнечной активности в ГАО РАН (<http://www.gaoran.ru/database/csa/>, <http://www.gaoran.ru/database/esai/>, <http://www.gaoran.ru/english/database/sd/index.htm>)
- Международная база данных наблюдений Солнца «Виртуальная солнечная обсерватория» <https://sdac.virtualsolar.org/cgi/search>
- Научная база данных Scopus (<https://www.scopus.com>)
- Научные данные (материалы) издательства Cambridge University Press (<http://www.cambridge.org>)

6.4. Информационные, информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования <https://elibrary.ru>
- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html
- Онлайн каталог изображений Солнца Гелиовьюер <https://helioviewer.org/>
- Монитор солнечной активности <https://www.solarmonitor.org>
- Международная система индексирования публикаций Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Научные ресурсы зарубежного издательства Elsevier B.V. – Freedom Collection (<https://www.elsevier.com>)

6.5. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- Сервер видеоконференцсвязи Jitsi Meet

7. Образовательные технологии

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно – рецензирование аспирантами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;

При необходимости, в процессе работы над заданием, аспирант может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

9. Контроль качества освоения программы аспирантуры

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Планируемые результаты освоения дисциплины

Знать:

- строение Солнца;
- глобальные характеристики Солнца как звезды;
- элементы теории солнечного динамо.

Уметь:

- качественно и количественно сопоставлять явления и процессы на Солнце с аналогичными явлениями и процессами на других звёздах;
- рассчитывать основные характеристики плазмы в различных областях Солнца;
- определять закономерности (корреляции, антикорреляции, периодичности) в солнечных наблюдениях.

Владеть:

- методами анализа информации, получаемой при астрономических наблюдениях;
- навыками применения современных теоретических моделей для интерпретации наблюдаемых на Солнце явлений.

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости аспиранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как *устный групповой опрос (вопросы)*:

1. Жизненный путь Солнца и других звезд. Происхождение химических элементов.
2. Строение Звезд. Конвективные и лучистые зоны.
3. Потеря углового момента и замедление вращения звезд. Гирохронология.

4. Дифференциальное вращение Солнца и звезд. Метод доплеровских изображений в наблюдениях вращения звезд.
5. Вращение лучистой зоны Солнца. Солнечный тахоклин.
6. Два основных эффекта солнечного динамо. Сценарий солнечного цикла.
7. Основной (11-летний) цикл солнечной активности: основные наблюдаемые характеристики.
8. Законы Хейла и Джоя. Регулярное и случайное в солнечном динамо. Глобальные минимумы солнечной активности.
9. Взаимодействие дифференциального вращения с магнитным полем. Крутильные колебания Солнца.
10. Магнитная активность звезд. Индексы корональной и хромосферной активности. Связь вращения и активности.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

Объектами оценивания выступают:

- Учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- Степень усвоения теоретических знаний.

Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел/Тема	ОС	Содержание задания
Раздел 1. Строение и эволюция звезд	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.
Раздел 4. Теория динамо солнечной активности. Геодинамо.	собеседование	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу.

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине осуществляется по окончанию дисциплины, в виде зачета в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине является допуском к зачету. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Вопросы для зачета

1. Строение Солнца.
2. Строение звёзд различных спектральных классов.
3. Источник энергии Солнца и звёзд.
4. Эволюция Солнца.
5. Эволюция звёзд различных спектральных классов.
6. Вращение Солнца и звёзд. Изменение вращения с возрастом.
7. Солнечные пятна.
8. Солнечные активные области.
9. Солнечная активность: общие характеристики.
10. Цикличность солнечной активности.
11. Солнечное динамо: альфа- и омега-эффекты.
12. Сценарий цикла солнечной активности.
13. Солнечные вспышки: наблюдаемые особенности.
14. Происхождение и модели солнечных вспышек.
15. Активность на звёздах различных спектральных классов.

Типовые задания к зачету

Раздел 1

Задание: соотнести параметры звезд и Солнца; определить сходство и различие индивидуальных звезд и Солнца

Раздел 2

Задание: определить возраст звезды по ее цвету и периоду вращения

Раздел 3

Задание: оценить величину параметров диффузии и усиления магнитного поля по заданным параметрам: скорости вращения звезды, размеру и скорости конвективных течений.

Раздел 4

Задание: определить текущую фазу солнечного цикла, а также направления тороидального и полярного полей в южном и северном полушариях по данным наблюдений

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если основной материал усвоен, аспирант приобрел необходимые знания и умения;
- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, аспирант не приобрел необходимых знаний и умений.