

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  
*А.В. Медведев* 2022 г.

## **Рабочая программа дисциплины**

### **Д.Ф.1 Физика Солнца**

**Научная специальность 1.3.1 Физика космоса, астрономия**

Иркутск 2022

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал  
доктор физико-математических наук

Л.Л. Кичатинов

### 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 факультативной 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 4 зачетные единицы, 144 часа.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
<b>Аудиторные занятия</b> (всего)	<b>18/0,5</b>
В том числе:	
Лекции	18
Семинары	-
<b>Самостоятельная работа</b> (всего)	<b>126/3,5</b>

В том числе:	
Конспектирование	126
Вид промежуточной аттестации (зачет)	-
<b>Общая трудоёмкость</b> (часы/зачетные единицы)	<b>144/4</b>

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов и темы дисциплины

#### 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. Бароклиническая 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 тахоклин. 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	36	4	0	32	Зачет
2	Вращение звезд. Вращение и магнитная активность.	36	4	0	32	Зачет
3	Гидромагнитное динамо	36	4	0	32	Зачет
4	Теория динамо солнечной активности. Геодинамо	36	6	0	30	Зачет
<b>Итого (часы)</b>		144	18	0	126	-
<b>Итого (з.е.)</b>		4	0,5	0	3,5	0

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

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Подготовка к сдаче и сдача кандидатского экзамена	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. Тематика заданий для 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	Конспектирование	<b>П.6. Основная литература:</b> 1. Плазменная гелиофизика. В 2-х томах. Под редакцией Л.М.Зеленого и И.С.Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 2. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986. 3. Паркер Е. Космические магнитные поля. В 2-х частях. М.: Мир, 1982 <b>Дополнительная литература:</b> 1. Гетлинг А.В. Конвекция Рэлея-Бенара. М.: Эдиториал УРСС,	32

	вещества в недрах звезд.		1999 2. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, 4-е изд., М.: Наука, 1988. 3. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, Физматлит, 1967	
2	Причины потери углового момента звездами. Замедление вращения со временем. Правило Скуманича. Гирохронология	Конспектирование	П.6. <b>Основная литература:</b> 1. Плазменная гелиофизика. В 2-х томах. Под редакцией Л.М.Зеленого и И.С.Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 2. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986. 3. Паркер Е. Космические магнитные поля. В 2-х частях. М.: Мир, 1982 <b>Дополнительная литература:</b> 1. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, 4-е изд., М.: Наука, 1988.	32
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	П.6. <b>Основная литература:</b> 1. Плазменная гелиофизика. В 2-х томах. Под редакцией Л.М.Зеленого и И.С.Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 2. Сомов Б.В. Космическая электродинамика и физика Солнца. М.: Изд-во МГУ, 1993. 3. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986. 4. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985 5. Паркер Е. Космические магнитные поля. В 2-х частях. М.: Мир, 1982 <b>Дополнительная литература:</b> 1. Кирко И.М., Кирко Г.Е., Магнитная гидродинамика. Современное видение проблем, Научно-изд. центр "Регулярная и хаотическая динамика", 2009.	32
4	Два основных эффекта геодинамо. Сценарий солнечного цикла. Глобальное магнитное поле Солнца. Обращения знака полярного поля. Солнечные пятна.	Конспектирование	П.6. <b>Основная литература:</b> 1. Плазменная гелиофизика. В 2-х томах. Под редакцией Л.М.Зеленого и И.С.Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 2. Сомов Б.В. Космическая электродинамика и физика	30

	Правила Хейла и Джоя. Индексы солнечной активности. Основной (11-летний) цикл. Вековой цикл. Минимум Маундера.		Солнца. М.: Изд-во МГУ, 1993. 3. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986. 4. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985 5. Паркер Е. Космические магнитные поля. В 2-х частях. М.: Мир, 1982 <b>Дополнительная литература:</b> 1. Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики, 2-е изд. М.: Физматгиз, 1966	
--	--	--	---	--

### 5.7. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов 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
Плазменная гелиофизика. В 2-х томах. Под редакцией Л.М.Зеленого и И.С.Веселовского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 2 печатных экземпляра в библиотеке ИСЗФ
Сомов Б.В. Космическая электродинамика и физика Солнца. М.: Изд-во МГУ, 1993.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ;
Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 6 печатных экземпляров в библиотеке ИСЗФ
Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 1 печатный экземпляр в библиотеке ИСЗФ
Паркер Е. Космические магнитные поля. В 2-х частях. М.: Мир, 1982	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 2 печатных экземпляра в библиотеке ИСЗФ

\* ЭБ- электронная библиотека

## 6.2. Дополнительная литература

Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
Кирко И.М., Кирко Г.Е., Магнитная гидродинамика. Современное видение проблем, Научно-изд. центр "Регулярная и хаотическая динамика", 2009.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 1 печатный экземпляр в библиотеке ИСЗФ
Гетлинг А.В. Конвекция Рэлея-Бенара. М.: Эдиториал УРСС, 1999.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 1 печатный экземпляр в библиотеке ИСЗФ
Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики, 4-е изд., М.: Наука, 1988.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 4 печатных экземпляра в библиотеке ИСЗФ
Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, Физматлит, 1967.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 2 печатных экземпляра в библиотеке ИСЗФ
Пикельнер С.Б. Основы космической электродинамики, 2-е изд. М.: Физматгиз, 1966.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ; 4 печатных экземпляра в библиотеке ИСЗФ

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

- <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](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

Программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

№	Наименование программного продукта	Кол-во	Обоснование для пользования ПО (Лицензия, Договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи лицензии	Срок действия права пользования
1	Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level	3	Номер Лицензии Microsoft 47790919	30.01.2009	бессрочно
2	Microsoft Windows Professional 7 Russian OPEN 1 License No Level Legalization Get Genuine	5	Номер Лицензии Microsoft 47771806	06.12.2010	бессрочно
3	7-Zip	1	Свободно распространяется на условиях лицензии GNU LGPL		бессрочно
4	Adobe Acrobat Reader DC	1	Лицензионное соглашение на программное обеспечение Adobe.		бессрочно
5	Mozilla Firefox	1	Свободно распространяется на условиях тройной лицензии Mozilla ( <a href="#">MPL/GPL/LGPL</a> ).		бессрочно
6	VLC Media player	1	Свободно распространяется на условиях лицензии GNU GPL		бессрочно
7	Операционная система Ubuntu	6	свободная лицензия		бессрочно
8	Дистрибутив Python Anaconda	6	свободная лицензия		бессрочно
9	Офисный пакет Libre Office	6	свободная лицензия		бессрочно

### 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 звездах;
- 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 окончании 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**

#### **Раздел 1.**

1. Источник энергии звезд.  
Спектральные классы.
2. Эволюция звезд.
3. Происхождение «тяжелых» химических элементов.
4. Перенос энергии в звездах.
5. Лучистые и конвективные зоны

## **Раздел 2.**

1. Понятие о гелиосейсмологии.
2. Замедление вращения звезд со временем и его связь с магнитной активностью.
3. Гирохронология.

## **Раздел 3.**

1. Уравнение индукции магнитного поля.
2. Возможность усиления магнитного поля течением проводящей жидкости.
3. Мелко– и крупномасштабное динамо.

## **Раздел 4.**

1. Сценарий солнечного цикла.
2. Солнечный цикл «в среднем».
3. Причины различия циклов активности.

### **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