



Р. Т. Сотникова, Л. К. Кашапова

**ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ
СОЛНЦА**

Часть 1

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет»
Физический факультет

Р. Т. Сотникова, Л. К. Кашапова

ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ СОЛНЦА

Учебное пособие

В двух частях

Часть 1



УДК 523.9(075.8)
ББК 22.652я73
С67

Печатается по решению учебно-методической комиссии
физического факультета Иркутского государственного университета

Рецензенты:

проф. кафедры общей и космической физики ИГУ,
д-р физ.-мат. наук *В. А. Мазур*;
ведущ. науч. сотр. ИСЗФ СО РАН,
д-р физ.-мат. наук *В. Г. Файнштейн*

*Издание подготовлено при частичной поддержке
Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические
кадры инновационной России» на 2009–2013 годы
в рамках Государственного контракта № 02.740.11.0576*

Сотникова Р. Т.

С67 Введение в физику солнца : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 /
Р. Т. Сотникова, Л. К. Кашапова. – Иркутск : Изд-во Ир-
кут. гос. ун-та, 2010. – 135 с.

Обсуждаются различные проявления и циклические закономерности солнечной активности. Подчеркивается важная, а во многих случаях определяющая роль магнитного поля в солнечных процессах.

Пособие написано в соответствии с образовательной программой спецкурса «Физика Солнца», читаемого студентам астрономического отделения ИГУ, и предназначено для учебного обеспечения курса «Физика Солнца», изучаемого студентами физического факультета ИГУ в течение седьмого семестра. Основное внимание уделено вопросам строения Солнца, процессам в солнечном ядре, в зоне лучистого переноса, в конвективной области, в солнечной атмосфере.

Предназначено для студентов 4-го курса физического факультета, обучающихся по специальности «Физика».

Библиогр. 38 назв. Ил. 53. Табл. 6. Прил.

УДК 523.9(075.8)
ББК 22.652я73

© Сотникова Р. Т., Кашапова Л. К., 2010
© ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет», 2010

Оглавление

Предисловие	5
Введение: Солнце, как звезда	7
<i>Основные проблемы физики Солнца. Современные экспериментальные возможности. Положение Солнца в Галактике. Физические характеристики Солнца как звезды: радиус, масса, светимость, температура, спектр и химический состав. Гидродинамика Солнца в целом: дифференциальное вращение</i>	
Глава 1. ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ СОЛНЦА И ПРОТЕКАЮЩИЕ В НЕМ ПРОЦЕССЫ	
§ 1. Энерговывделяющее ядро	14
<i>Источники энергии излучения звезд. Солнечные нейтрино. Термоядерные реакции протон-протонного и углеродно-азотного циклов; тройной альфа-процесс. Вероятности ядерных реакций. Скорость генерации энергии</i>	
§ 2. Область лучистого переноса энергии	24
<i>Непрозрачность солнечного вещества. Диффузия излучения. Уравнение энергетического баланса. Лучистое равновесие внутри звезды</i>	
§ 3. Конвективный перенос энергии	28
<i>Критерий Шварцшильда. Уравнение конвективного переноса энергии. Причина конвекции на Солнце. Солнечная грануляция. Число Рэлея и тип конвекции. Достаточное условие конвекции. Поля упорядоченных скоростей в солнечной атмосфере. Структура конвективной зоны Солнца</i>	
§ 4. Нейтринное излучение Солнца	39
<i>Нейтрино, идущие от Солнца. Регистрация нейтрино: хлор-аргонный эксперимент, галлиевый эксперимент, водный детектор. Нейтринные осцилляции и масса нейтрино</i>	
Глава 2. АТМОСФЕРА СОЛНЦА	
§ 5. Генерация нелучистой энергии и нагрев солнечной атмосферы	49
<i>Распределение температуры Солнца вдоль радиуса и в солнечной атмосфере. Звуковые волны. Энергия звуковой волны. Учет магнитного поля. Модель нагрева солнечной атмосферы.</i>	

§ 6. Строение солнечной атмосферы	58
<i>Фотосфера, потемнение к краю. Хромосфера, возможности наблюдений и структура. Переходная область. Корона.</i>	
Практическая работа № 1. Изучение распределения интенсивности по диску Солнца	69
Практическая работа № 2. Исследование структуры и температуры атмосферы на разных высотах	73

Глава 3. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ НА СОЛНЦЕ

§ 7. Нестационарные процессы в солнечной атмосфере	75
<i>Возмущенная фотосфера: солнечные пятна и факелы. Физические условия в солнечных пятнах. Группы солнечных пятен, их классификация. Хромосферные вспышки: физические условия, теория солнечных вспышек. Корональные дыры.</i>	
Практическая работа № 3. Солнечные вспышки в оптическом диапазоне, их связь с магнитными полями активных областей ...	90
Практическая работа № 4. Солнечные вспышки в рентгеновском диапазоне, их связь с магнитными полями активных областей	93
§ 8. Магнитные поля на Солнце	96
<i>Общее магнитное поле Солнца: проблема происхождения и конфигурация. Физические основы измерения магнитных полей. Тонкая структура и составляющие магнитного поля. Механизм усиления общего магнитного поля. Магнитная плавучесть и возникновение полей солнечных пятен. Теория магнитного цикла, модель Бэбкока–Лейтона.</i>	
Практическая работа № 5. Построение синоптической карты магнитных полей во время одного кэррингтоновского оборота ...	116

Библиографический список	121
---------------------------------------	------------

ПРИЛОЖЕНИЕ

Учебно-методическое обеспечение курса	124
Компьютерный практикум	125
Лабораторная работа № 1. Роль магнитного поля в формировании структуры различных слоев атмосферы на Солнце	126
Лабораторная работа № 2. Магнитные поля и солнечная активность	129
Лабораторная работа № 3. Изучение динамики развития солнечной вспышки в различных длинах волн электромагнитного спектра	134

Предисловие

Спецкурс «Введение в физику Солнца» разработан для студентов 4-го курса физического факультета Иркутского государственного университета специализации «космофизика». Программа курса соответствует учебным дисциплинам подготовки студентов по данной специализации и ориентирована на тематику научных исследований базового института кафедры – Института солнечно-земной физики (ИСЗФ) СО РАН.

Цель курса – дать студентам представление о Солнце, как о звезде и подчеркнуть роль магнитных полей в динамике процессов, происходящих на Солнце. При этом поставлены следующие задачи: изучить строение Солнца и протекающие в нем процессы; показать действие законов магнитной гидродинамики в условиях солнечной плазмы; познакомиться с современными методами наблюдений и исследований Солнца. Студенты должны уметь применять знания физических закономерностей для объяснения вопросов солнечной активности и влияния Солнца на Землю и давать аргументированную оценку информации в области всякого рода прогнозов деятельности Солнца.

Изучение курса «Введение в физику Солнца» идет с обязательным выполнением учебного практикума по всем разделам программы. В период летней практики студенты имеют возможность посетить обсерваторию в пос. Монды, расположенную на границе с Монголией, и непосредственно познакомиться с задачами измерения магнитных полей на Солнце, давно и успешно решаемых на телескопе СТОП Саянской обсерватории ИСЗФ. В пос. Листвянка, на Байкале, знакомятся с Большим солнечным вакуумным телескопом (БСВТ), оптическими схемами телескопа и спектрографа. В пос. Бадары имеют возможность изучить солнечный радиотелескоп (ССРТ), его антенную систему, приемные устройства, схему сложения сигналов интерферометров, систему быстрой регистрации.

На практических занятиях студенты используют данные наблюдений обсерваторий ИСЗФ. По материалам наблюдений на БСВТ студенты приобретают навыки по идентификации спектра и вычислению спектральной дисперсии, определению лучевых скоростей движущегося вещества (изучение эффекта Доплера), определению напряженности магнитного поля в пятне (эффект Зеемана). Наблюдения на ССРТ и СТОП дают возможность студентам работать с двумерными изображениями. Практические занятия этого направления состоят из следующих лабораторных работ: освоение программ просмотра и об-

работки изображений, отождествление наблюдаемых особенностей активных областей: солнечных вспышек, протуберанцев, корональных дыр; сравнение радиоизображений Солнца с изображениями в белом свете, линии H α , рентгеновском и ультрафиолетовом излучении.

Лабораторные работы выполняются фронтально. При одинаковой постановке задач студенты получают индивидуальные задания с конкретными данными. Фронтальное выполнение лабораторных работ по одной теме позволяет построить их и подобрать таким образом, чтобы полученные результаты в совокупности наглядно раскрывали характерные черты исследуемых явлений.

Методическим оформлением курса является использование современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео), дистанционных (Internet). Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность интернет-ресурсов и организовать выполнение лабораторных работ через реализацию интернет-технологий.

По содержанию и задачам лабораторные работы соответствуют научно-экспериментальным исследованиям, которые проводятся на основе конкретных физических методик и поэтому позволяют получить достоверную информацию об изучаемом объекте, явлении, физических условиях, выявить связи и взаимодействия между ними.

Пособие состоит из двух частей. В первой части пособия рассматриваются вопросы из теории внутреннего строения Солнца, физические процессы в солнечном ядре, в зоне лучистого переноса, в конвективной области и в солнечной атмосфере. Обсуждаются различные проявления и циклические закономерности солнечной активности. Подчеркивается важная и во многих случаях определяющая роль магнитного поля в солнечных процессах; приведены физические основы методов измерения магнитных полей на Солнце.

Во второй части пособия будут более подробно рассмотрены результаты исследования Солнца, полученные в последние два десятилетия, в том числе крупномасштабная структура короны, корональные выбросы масс и влияние Солнца на космическую погоду. Также во второй части будут более детально обсуждаться методы измерения параметров Солнца и различные инструменты для его исследования.

Пособие написано в соавторстве Р. Т. Сотниковой (главы 1–3) и Л. К. Кашаповой (приложение).

Введение: Солнце, как звезда

Основные проблемы физики Солнца. Современные экспериментальные возможности. Положение Солнца в Галактике. Физические характеристики Солнца как звезды: радиус, масса, светимость, температура, спектр и химический состав. Гидродинамика Солнца в целом: дифференциальное вращение

Основные проблемы физики Солнца. Физика Солнца – это раздел астрофизики, который занимается изучением физических процессов на Солнце. Включает в себя три подраздела:

1. Внутреннее строение Солнца и его эволюция.
2. Строение солнечной атмосферы.
3. Солнечная активность (СА) – комплекс явлений и процессов, связанных с образованием и распадом в солнечной атмосфере сильных магнитных полей.

Солнце является главным небесным телом нашей планетной системы. Оно расположено в общем фокусе всех планетных орбит; было и остается основной движущей силой нашей эволюции. Для земного наблюдателя уникальность Солнца состоит в том, что это ближайшая к нам звезда, атмосферу и активность которой можно детально изучать.

Непосредственно с Земли Солнце изучают оптическими и радиометодами. Внеатмосферная астрономия позволила значительно расширить исследуемый диапазон частот электромагнитного излучения Солнца. Методами внеатмосферной астрономии более детально изучается все многообразие солнечных явлений. Например, грануляционная структура поверхности Солнца; сложные изменения яркости и движений в активных центрах; процессы в самых внешних, разреженных слоях атмосферы – хромосфере и короне, в частности хромосферные вспышки, протуберанцы, солнечный ветер.

В последние десятилетия аналогичные процессы – звездные вспышки – наблюдаются на некоторых классах звезд. Наиболее вспыхивающими являются красные карликовые звезды типа UV Кита. Интерпретация вспышек на них основывается на внутренней физической аналогии между активностью Солнца и активностью красных карликовых звезд. В результате сопоставления