

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Космическая электродинамика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра космической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет  
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 60 час.  
семинары: 30 час.  
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: А.М. Садовский, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры космической физики 04.06.2020

## Аннотация

Курс лекций посвящен теории плазменных явлений в космосе. Описываются модели усиления и генерации магнитного поля, его перенос и диссипация, излучение плазмы и ускорение частиц. Все процессы рассматриваются как общие для различных космических систем и масштабов. Во второй части курса процессы применяются для изучения явлений в близких объектах: на Солнце и в земной магнитосфере. Третья часть курса посвящена плазменной астрофизике.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций в области космической электродинамики; развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять физические модели для исследования свойств и моделирования процессов в физике космоса; получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и средств; получение практических навыков использования данных современных космических экспериментов для решения задач.

### Задачи дисциплины

получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов

ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
---	---

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- гидродинамические и кинетические подходы в плазменной астрофизике;
- порядки численных величин, характерные для различных областей Вселенной;
- основы физики Солнца;
- основные процессы в магнитосферах Земли и планет;
- основные астрофизические явления.

уметь:

- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач космической физики;
- видеть в задачах физическое содержание;
- делать численные оценки по порядку величины;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в плазменной астрофизике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

владеть:

- работы с современной научной литературой под данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования задач космической физики;
- практикой исследования и решения задач физики космоса;
- навыками теоретического анализа реальных задач в различных областях космического пространства.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в плазменную астрофизику. Строение Солнца	4	4		4
2	Усиление и генерация магнитного поля (гидромагнитное динамо)	4	4		4
3	Магнитоконвекция. Магнитная плавучесть. Неустойчивость Паркера	4	4		4
4	Пересоединение. Модели Паркера-Свита и Петчека. Равновесие плазмы в плоском нейтральном слое. Модель Харриса	6	6		6
5	Введение в тиринг-неустойчивость	4	4		4
6	Механизмы излучения плазмы	4	4		4
7	Ускорение частиц в плазме	4	4		4
8	Тепловой баланс в солнечной короне. Солнечный ветер	4			4

9	Строение магнитосферы Земли. Сравнение планетных магнитосфер	4			4
10	Строение и короны аккреционных дисков	4			4
11	Магнитосферы нейтронных звезд	6			6
12	Космические лучи	4			4
13	Активные галактические ядра	4			4
14	Космологические приложения	4			4
Итого часов		60	30		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Введение в плазменную астрофизику. Строение Солнца

###### Введение в плазменную астрофизику. Строение Солнца

Введение в предмет, описание процессов, временных и пространственных масштабов. Иерархия и взаимосвязь процессов в плазменной астрофизике, указание на их эволюционность. Структурированность и сложность описываемых систем. Строение Солнца, стандартная модель.

##### 2. Усиление и генерация магнитного поля (гидромагнитное динамо)

Изучение механизма усиления или поддержания стационарного или колебательно состояния магнитного поля гидродинамическими движениями плазмы обычно в присутствии конечной диссипации. Модель среднего поля. Описание моделей динамо.

##### 3. Магнитоконвекция. Магнитная плавучесть. Неустойчивость Паркера

Изучение основных процессов переноса магнитного поля и неустойчивостей, связанных с этими процессами. Модели конвекции. Неустойчивость трубок магнитного поля.

##### 4. Пересоединение. Модели Паркера-Свита и Петчека. Равновесие плазмы в плоском нейтральном слое. Модель Харриса

Изучение механизмов изменения топологии магнитного поля и диссипации плазмы. Основные модели быстрой диссипации. Равновесие плазмы в нейтральных слоях.

##### 5. Введение в тиринг-неустойчивость

Изучение механизма разрушения плоских нейтральных слоев. Рассмотрение механизмов изучения неустойчивостей космической плазмы на примере тиринг-неустойчивости.

##### 6. Механизмы излучения плазмы

Рассмотрение основных процессов излучения и переноса излучения в плазме, в частности, тормозного излучения; синхротронного излучения; комптоновского рассеяния.

##### 7. Ускорение частиц в плазме

Основные процессы ускорения частиц: бетатронное ускорение, ускорение Ферми 1-го и 2-го рода, ускорение на ударных волнах. Спектры ускоренных частиц.

Семестр: 2 (Весенний)

#### 8. Тепловой баланс в солнечной короне. Солнечный ветер

Изучение моделей корональных петель — основных строительных блоков короны и корональных структур. Изучение процессов переноса вдоль магнитного поля, давление и температура петли. Модель Паркера солнечного ветра.

#### 9. Строение магнитосферы Земли. Сравнение планетных магнитосфер

Изучение магнитосферы Земли как системы, накапливающей энергию солнечного ветра. Модели магнитосферы. Описание механизма возникновения магнитных бурь и суббурь. Рассмотрение примеров магнитосфер других планет. Взаимодействие солнечного ветра с немагнитными телами.

#### 10. Строение и короны аккреционных дисков

Эддингтоновский предел, модель тонкого диска. Роль магнитного поля в динамике диска, корона аккреционного диска и спектр излучения диска и короны. Аккреционные диски черных дыр.

#### 11. Магнитосферы нейтронных звезд

Пульсары, время жизни пульсара. Магнитосферы пульсаров и аккреция на пульсар. Модель Голдрайха-Джулиана, ускорения частиц, изгибное излучение.

#### 12. Космические лучи

Модели рождения и распространения космических лучей, их состав. Широкие атмо-сферные линии. Диффузия космических лучей.

#### 13. Активные галактические ядра

Аккреция на активные галактические ядра. Модель Блэндфорда-Знаека.

#### 14. Космологические приложения

Межгалактическая плазма, космологические магнитные поля, космические лучи.

### **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

### **6. Перечень рекомендуемой литературы**

#### Основная литература

1. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению 010600 "Физика" и специальностям 010701 "Физика" и 010702 "Астрономия" / В. С. Бескин . — М. : Физматлит, 2005 . — 384 с.
2. Основы физики плазмы. Т.2. / Под ред. А.А. Галеева, Р. Судана. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

#### Дополнительная литература

1. Плазменная гелиогеофизика [Текст]. В 2 т. Т. 1/под ред. Л. М. Зеленого, И. С. Веселовского, -М., Физматлит, 2008
2. Плазменная гелиогеофизика [Текст]. В 2 т. Т. 2/под ред. Л. М. Зеленого, И. С. Веселовского, -М., Физматлит, 2008

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

База данных экзопланет [www.exoplanet.eu](http://www.exoplanet.eu)

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Не используются

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

Литература для самостоятельного изучения:

1. Tajima T., Shibata K. Plasma Astrophysics. - Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1997.
2. Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. – М.: Мир, 1985.
3. Russell C.T., Luhmann J.G., Strangeway R.J. Space Physics: An Introduction. - Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2016.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра космической физики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.М. Садовский, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Космическая электродинамика» обучающийся должен:

### знать:

- гидродинамические и кинетические подходы в плазменной астрофизике;
- порядки численных величин, характерные для различных областей Вселенной;
- основы физики Солнца;
- основные процессы в магнитосферах Земли и планет;
- основные астрофизические явления.

### уметь:

- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач космической физики;
- видеть в задачах физическое содержание;
- делать численные оценки по порядку величины;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в плазменной астрофизике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

### владеть:



- работы с современной научной литературой по данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования задач космической физики;
- практикой исследования и решения задач физики космоса;
- навыками теоретического анализа реальных задач в различных областях космического пространства.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрен

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Типовые вопросы:

1. Иерархия и взаимосвязь процессов, эволюционность процессов.
2. Строение Солнца, стандартная модель. Цепочки термоядерных реакций. Основные параметры Солнца в зависимости от радиуса.
3. Модель динамо. Кинематическое и гидромагнитное динамо.
4. Модель среднего поля. Описание моделей динамо (альфа и омега динамо).
5. Конвекция. Конвекция в присутствии магнитного поля.
6. Неустойчивость Паркера.
7. Что такое пересоединение. Модель Паркера-Свита.
8. Быстрое пересоединение. Модель Петчека.
9. Равновесие плазмы в плоском нейтральном слое. Модель Харриса.
10. Механизм разрушения плоских нейтральных слоев. Тиринг-неустойчивость.
11. Механизмы излучения в плазме.
12. Тормозное излучение плазмы.
13. Синхротронное излучение.
14. Комптоновское рассеяние.
15. Ускорение частиц в плазме. Бетатронное ускорение.
16. Ускорение Ферми 1-го и 2-го рода.
17. Бесстолкновительные ударные волны и ускорение на ударных волнах.
18. Тепловой баланс в солнечной короне и модели корональных петель.
19. Солнечный ветер. Модель Паркера
20. Строение магнитосферы Земли. Модели магнитосферы.
21. Сравнение планетных магнитосфер. Взаимодействие с немагнитными телами.
22. Строение аккреционного диска черной дыры. Эддингтоновский предел, модель тонкого диска. Роль магнитного поля в динамике диска.
23. Корона аккреционного диска. Спектр излучения диска и короны.
24. Пульсары, время жизни пульсара. Магнитосферы пульсаров и аккреция на пульсар. Модель Голдрайха-Джулиана, ускорение частиц, изгибаемое излучение.
25. Модели рождения и распространения космических лучей, состав космических лучей. Широкие атмосферные линии. Диффузия космических лучей.

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Быстрое пересоединение, модели.
2. Магнитосфера нейтронной звезды.

Билет 2.

1. Модели динамо.
2. Солнечный ветер.

Билет 3.

1. Тормозное излучение плазмы.
2. Корона аккреционного диска.

## Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта и экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.