

**Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования Московской области  
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
(университет «Дубна»)  
Факультет естественных и инженерных наук  
Кафедра теоретической физики**

**УТВЕРЖДАЮ**

проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Моржухина

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Теоретическая физика»**

**Раздел «Электродинамика. Электродинамика сплошных сред»**

**по направлению 010700.62 «ФИЗИКА»**

Специализация «Теоретическая физика»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: *бакалавр*

Курс 3, семестры 5, 6

г. Дубна, 2011 г.

## 1. Требования ГОС ВПО

### **Электродинамика.**

Микроскопические уравнения Максвелла. Сохранение заряда, энергии, импульса, момента импульса. Потенциалы электромагнитного поля; калибровочная инвариантность. Мультипольные разложения потенциалов. Решения уравнений для потенциалов (запаздывающие потенциалы). Электромагнитные волны в вакууме. Излучение и рассеяние, радиационное трение.

Принцип относительности. Релятивистская кинематика и динамика, четырехмерный формализм. Преобразования Лоренца. Тензор электромагнитного поля. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнений и законов сохранения для электромагнитного поля и для частиц. Законы преобразования для напряженностей полей, для частоты и волнового вектора электромагнитной волны.

### **Электродинамика сплошных сред.**

Усреднение уравнений Максвелла в среде, поляризация и намагниченность среды, векторы индукции и напряженностей полей. Граничные условия. Электростатика проводников и диэлектриков. Пондеромоторные силы. Постоянное магнитное поле. Ферромагнетизм. Сверхпроводимость. Квазистационарное электромагнитное поле, скин-эффект. Магнитная гидродинамика. Уравнения электромагнитных волн. Дисперсия диэлектрической проницаемости, поглощение, формулы Крамерса-Кронига. Фазовая и групповая скорости в диспергирующей среде. Отражение и преломление. Распространение в неоднородной среде. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Электромагнитные флуктуации (флуктуационно-диссипативная теорема). Элементы нелинейной электродинамики.

## 2. Аннотация

Программа дисциплины «Электродинамика. Электродинамика сплошных сред» составлена в соответствии с разделом **ОПД.Ф.** ГОС ВПО для подготовки бакалавров по направлению: **010700.62** «Физика».

### **Место курса в профессиональной подготовке бакалавров**

Предполагается наличие у студента знаний в рамках стандартного курса общей физики (электродинамика), теоретической механики, а также курса математического анализа, аналитической геометрии и линейной алгебры, тензорного анализа, теории функций комплексной переменной. В значительной степени необходимо также знание методов математической физики (уравнения в частных производных и специальные функции). Полученные знания необходимы студентам при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы и при решении научно-исследовательских задач в будущей профессиональной деятельности.

**Формы работы студентов** в ходе изучения дисциплины предусмотрены лекции, семинарские занятия, выполнение домашних работ. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно в соответствии с планом самостоятельной работы и конкретными заданиями преподавателя с учетом индивидуальных особенностей студентов.

### **Самостоятельная работа студентов**

Изложение материала сопровождается набором из 5-10 задач к каждой лекции. Часть задач разбирается в аудитории, остальные задачи студенты сдают лектору.

**Виды текущего контроля** – проверка домашних заданий, опросы по материалу лекций, контрольные работы.

**Формы промежуточного контроля** – экзамены (5,6 семестр).

### 3. Цели и задачи дисциплины

Целью курса является: систематическое изложение основных понятий и методов классической теоретической электродинамики; применение полученных знаний для решения конкретных задач с физическим содержанием; развитие навыков самостоятельной работы с литературой по данному предмету.

### 4. Требование к уровню усвоения содержания дисциплины

После окончания курса студент должен:

**Знать** принцип относительности, преобразования Лоренца, действие и лагранжиан свободной релятивистской частицы и заряженной частицы в электромагнитном поле, уравнения Максвелла в вакууме и сплошных средах, теорему Пойнтинга, эффект Доплера, свойства диэлектриков и магнетиков, формулы Крамерса-Кронига, флуктуационно-диссипативную теорему, основы сверхпроводимости.

**Иметь представление о** потенциалах Лиенара-Вихерта, эффекте Холла, излучении Вавилова-Черенкова, эффекте Мейснера

**Уметь** ставить и решать граничные задачи электростатики, магнитостатики, задачи об излучении, рассеянии и поляризации электромагнитных волн, граничные задачи при наличии диэлектриков

**Владеть** четырехмерным релятивистским формализмом, мультипольными разложениями, методом функций Грина для решения граничных задач электродинамики

### 5. Объем дисциплины и виды учебной работы (в часах)

Вид занятий	Всего часов	5-й семестр	6-й семестр
Общая трудоемкость	210	106	104
<b>Аудиторные занятия:</b>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
Лекции (Л)	72	36	36
Семинары (С)	72	36	36
<b>Самостоятельная работа (СР):</b>	<b>66</b>	<b>34</b>	<b>32</b>
Виды итогового контроля		Экзамен	Экзамен

### 6. Разделы дисциплины

№	Раздел дисциплины	Л	С	СР
	<b>Электродинамика (5 семестр)</b>			
1	Принцип относительности. Преобразования Лоренца.	4	4	4
2	Действие и лагранжиан свободной релятивистской частицы.	2	2	2
3	Микроскопические уравнения Максвелла	4	4	2
4	Тензор электромагнитного поля.	2	2	2

5	Действие и лагранжиан для электромагнитного поля	2	2	2
6	Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах.	2	2	2
7	Тензор-энергии импульса электромагнитного поля	2	2	2
8	Ковариантная запись уравнений и законов сохранения для электромагнитного поля и для частиц	2	2	2
9	Энергия электростатического поля.	2	2	2
10	Энергия системы зарядов во внешнем электростатическом поле.	2	2	2
11	Граничные задачи электростатики.	2	2	2
12	Решения уравнений для потенциалов.	2	2	2
13	Решение граничных задач электростатики методом функции Грина.	2	2	2
14	Электромагнитные волны в вакууме.	2	2	2
15	Дипольное излучение. Плоская монохроматическая волна, волновая зона.	2	2	2
16	Поляризация электромагнитной волны. Доплер эффект. Реакция излучения.	2	2	2
	<b>Электродинамика сплошных сред (6 семестр)</b>			
1	Уравнения Максвелла в среде	2	2	2
2	Электростатика проводников и диэлектриков	2	2	2
3	Магнитостатика сплошных сред	2	2	2
4	Магнетики	2	2	2
5	Электромагнитные волны в диспергирующих средах	4	2	2
6	Электромагнитные волны в неоднородных средах	4	2	2
7	Прохождение быстрых частиц через вещество	2	2	2
8	Проводимость.	2	2	2
9	Квазистационарное электромагнитное поле, скин-эффект	2	2	2
10	Магнитная гидродинамика.	4	2	4
11	Электромагнитные флуктуации	2	2	2
12	Элементы нелинейной электродинамики	2	2	2
13	Сверхпроводимость.	6	2	6

## Содержание разделов дисциплины

### Электродинамика (5 семестр)

1. Принцип относительности. Преобразования Лоренца. Интервал. Световой конус. Собственное время. Сокращение масштабов. *Релятивистская кинематика и динамика, четырехмерный формализм.* Преобразование скоростей. Четырехмерные скорость и ускорение.
2. Действие и лагранжиан свободной релятивистской частицы. Вектор 4-импульса частицы. Релятивистское уравнение Гамильтона-Якоби. Теорема Нетер и законы сохранения
3. Микроскопические уравнения Максвелла. Сохранение заряда, энергии, импульса, момента импульса. *Потенциалы электромагнитного поля.* Действие и лагранжиан заряда в электромагнитном поле. Уравнение Гамильтона-Якоби частицы в электромагнитном поле.
4. Тензор электромагнитного поля. Уравнение движения заряда. Преобразования Лоренца для поля. Инварианты поля. Первая пара уравнений Максвелла.

5. Действие и лагранжиан для электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Вторая пара уравнений Максвелла. Уравнение непрерывности. *Калибровочная инвариантность*.
6. Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Плотность и поток энергии электромагнитного поля. Теорема Пойнтинга.
7. Тензор-энергии импульса электромагнитного поля. Физический смысл компонент ТЭИ. Максвелловский тензор напряжений.
8. Ковариантная запись уравнений и законов сохранения для электромагнитного поля и для частиц. Движение частицы в однородном электрическом поле. Движение частицы в однородном магнитном поле. Нерелятивистское движение частицы в перпендикулярных постоянных и однородных электрическом и магнитном полях. Релятивистское движение частицы в параллельных однородных электрическом и магнитном полях.
9. Энергия электростатического поля. Классический радиус электрона. Поле равномерно движущегося заряда. Нерелятивистский предел.
10. Энергия системы зарядов во внешнем электростатическом поле. Потенциалы и поля вдали от системы движущихся зарядов. *Мультипольные разложения потенциалов*. Дипольный и квадрупольный моменты системы зарядов. Квазистационарное магнитное поле. Закон Био-Савара. Магнитный момент системы зарядов.
11. Граничные задачи электростатики. Решение уравнения Пуассона.
12. Решения уравнений для потенциалов. Функция Грина уравнения Даламбера. *Запаздывающие потенциалы*. Опережающие потенциалы.
13. Решение граничных задач электростатики методом функции Грина. Единственность решения электростатических задач Дирихле и Неймана.
14. Электромагнитные волны в вакууме.  
*Излучение и рассеяние, радиационное трение. Законы преобразования для напряженностей полей, для частоты и волнового вектора электромагнитной волны.*
15. Дипольное излучение. Плоская монохроматическая волна, волновая зона.
16. Поляризация электромагнитной волны. Доплер эффект. Реакция излучения.

## **Электродинамика сплошных сред (6 семестр)**

### 1. Уравнения Максвелла в среде

*Усреднение уравнений Максвелла в среде, поляризация и намагниченность среды, векторы индукции и напряженностей полей. Граничные условия. Мультиполи. Поляризуемость и диэлектрическая восприимчивость.*

### 2. Электростатика проводников и диэлектриков

*Изотропные диэлектрики. Граничные задачи при наличии диэлектриков. Энергия электростатического поля в диэлектрике. Пондеромоторные силы.*

### 3. Магнитостатика сплошных сред

*Постоянное магнитное поле. Магнитное поле ограниченного распределения токов, магнитный момент. Макроскопические уравнения магнитостатики сплошных сред. Граничные условия для индукции и напряженности магнитного поля. Граничные задачи макроскопической магнитостатики.*

### 4. Магнетики

*Диамагнитные и парамагнитные среды. Ферромагнетизм. Энергия магнитной анизотропии. Гистерезис. Доменная структура ферромагнетиков.*

### 5. Электромагнитные волны в диспергирующих средах

Уравнения электромагнитных волн. Дисперсия диэлектрической проницаемости, поглощение, формулы Крамерса-Кронига. Фазовая и групповая скорости в диспергирующей среде. Отражение и преломление волн на границе диэлектрических сред.

### 6. Электромагнитные волны в неоднородных средах

Распространение в неоднородной среде. Электромагнитные волны в анизотропных средах.

### 7. Прохождение быстрых частиц через вещество

Прохождение быстрых частиц через вещество. Потенциалы Лиенара-Вихерта и излучение Вавилова-Черенкова.

### 8. Проводимость.

Проводники. Модель проводимости. Плотность тока и проводимость. Закон Ома. Эффект Холла.

### 9. Квазистационарное электромагнитное поле, скин-эффект.

Плоские электромагнитные волны в проводящей среде. Скин-эффект.

### 10. Магнитная гидродинамика.

Проводимость жидкостей и газов. Уравнения магнитной гидродинамики. Магнитное давление. Электромагнитные волны в жидкостях и газах.

Пинч-эффект. Динамическая модель и неустойчивость сжатого плазменного столба.

Магнитогидродинамические волны (альфвеновские волны). Высокочастотные плазменные колебания и волны. Плазменная частота.

Дебаевское экранирование заряда в плазме. Диссипативные процессы в магнитной гидродинамике.

### 11. Электромагнитные флуктуации

Электромагнитные флуктуации. Флуктуационно-диссипативная теорема.

### 12. Элементы нелинейной электродинамики

Нелинейные среды. Преобразование частот, нелинейная проницаемость, самофокусировка.

### 13. Сверхпроводимость.

Эффективная макроскопическая теория сверхпроводимости. Теория Гинзбурга-Ландау и абелева модель Хиггса. Спонтанное нарушение калибровочной симметрии и эффект Мейснера.

Сверхпроводящее кольцо и квантование магнитного потока. Вихри Абрикосова в сверхпроводнике.

### **Практические занятия (семинары)**

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
<b>5-ой семестр</b>		
1	1	Решение задач по теме «Преобразования Лоренца».

2	2	Действие и лагранжиан свободной релятивистской частицы.
3	3	Микроскопические уравнения Максвелла
4	4	Тензор электромагнитного поля.
5	5	Действие и лагранжиан для электромагнитного поля
6	6	Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах.
7	7	Тензор-энергии импульса электромагнитного поля
8	8	Решение задач на законы сохранения для электромагнитного поля и для частиц
9	9	Энергия электростатического поля.
10	10	Энергия системы зарядов во внешнем электростатическом поле.
11	11	Решение граничных задач электростатики.
12	12	Решения уравнений для потенциалов.
13	13	Решение граничных задач электростатики методом функции Грина.
14	13	Решение граничных задач электростатики методом функции Грина.
15	14	Электромагнитные волны в вакууме.
16	15	Решение задач по теме «Дипольное излучение».
17	16	Решение задач по теме «Доплер эффект»
18		Зачетная неделя
<b>6-ой семестр</b>		
1	1	Решение задач по теме «Мультипольное разложение. Поляризуемость и диэлектрическая восприимчивость»
2	1	Решение задач по теме «Граничные задачи при наличии диэлектриков. Энергия электростатического поля в диэлектрике»
3	3	Решение задач по теме «Макроскопические уравнения магнитостатики сплошных сред. Граничные задачи макроскопической магнитостатики»
4	4	Решение задач по теме «Диаманитные и парамагнитные среды. Ферромагнетизм»
5	5	Решение задач по теме «Дисперсия диэлектрической проницаемости, поглощение, формулы Крамерса-Кронига
6	5	Решение задач по теме «Фазовая и групповая скорости в диспергирующей среде. Отражение и преломление волн на границе диэлектрических сред»
7	7	Решение задач по теме «Прохождение быстрых частиц через вещество. Отражение и преломление волн на границе диэлектрических сред»
8	8	Решение задач по теме «Закон Ома. Эффект Холла»
9	9	Решение задач по теме «Плоские электромагнитные волны в проводящей среде»
10	10	Решение задач по теме «Уравнения магнитной гидродинамики. Магнитное давление. Электромагнитные волны в жидкостях и газах»
11	10	Решение задач по теме «Магнитогидродинамические волны (альфвеновские волны)»
12	10	Решение задач по теме «Высокочастотные плазменные колебания и волны. Плазменная частота»
13	12	Решение задач по теме «Нелинейные среды»
14	12	Решение задач по теме «Преобразование частот, самофокусировка»
15	13	Решение задач по теме «Теория Гинзбурга-Ландау и абелева

		модель Хиггса. Спонтанное нарушение калибровочной симметрии и эффект Мейснера»
16	13	Решение задач по теме «Теория сверхпроводимости. Вихри Абрикосова в сверхпроводнике»
17	13	Решение задач по теме «Вихри Абрикосова в сверхпроводнике»
18		Зачетная неделя

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика, том II: Теория поля, 7-е изд., М.: Наука, 1988.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика, том VIII: Электродинамика сплошных сред, М.:Физматлит, 2005
3. **Батыгин В.В.** Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности: Учебное пособие / Батыгин Владимир Владимирович, Топтыгин Игорь Николаевич. - 4-е изд., перераб. - СПб.: Лань, 2010. - 480с.: ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература).

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

2. **Васильев А.Н.** Классическая электродинамика. Краткий курс лекций. - БХВ-Петербург, 2010. - ISBN 978-5-9775-0343-3
3. **Фейнман Р.** Фейнмановские лекции по физике. Т.6 : Электродинамика / Фейнман Ричард Филлипс, Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью; Пер.с англ. А.В.Ефремова и др.; Под ред.Я.А.Смородинского. - М.: Едиториал УРСС, 2004.
4. **Гроот С.Р.де.** Электродинамика / Гроот С.Р.де, Сатторп Л.Г.; Пер.с англ. А.Р.Казаряна, А.М.Курбатова; Под ред. Н.Н.Боголюбова (мл.) с доп. Н.Н.Боголюбова, Н.Н.Боголюбова (мл.). - М.: Наука, 1982

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- оверхэд
- мультимедийный проектор

## 9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

### Вопросы к экзамену по разделу «Электродинамика»

1. Принцип относительности. Преобразования Лоренца Интервал. Световой конус. Собственное время. Сокращение масштабов.
2. Преобразование скоростей. Четырехмерные скорость и ускорение.
3. Действие и лагранжиан свободной релятивистской частицы. Вектор 4-импульса частицы. Релятивистское уравнение Гамильтона-Якоби.



4. 4-потенциал электромагнитного поля. Действие и лагранжиан заряда в электромагнитном поле. Уравнение Гамильтона-Якоби частицы в электромагнитном поле.
5. Тензор электромагнитного поля. Уравнение движения заряда. Преобразования Лоренца для поля. Инварианты поля.
6. Первая пара уравнений Максвелла. Действие и лагранжиан для электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока.
7. Вторая пара уравнений Максвелла. Уравнение непрерывности. Калибровочная инвариантность.
8. Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Плотность и поток энергии электромагнитного поля.
9. Тензор энергии-импульса физической системы с заданной плотностью лагранжиана. Физический смысл компонент ТЭИ.
10. Тензор энергии импульса электромагнитного поля. Теорема Пойнтинга. Максвелловский тензор напряжений.
11. Движение частицы в однородном электрическом поле.
12. Энергия электростатического поля. Классический радиус электрона.
13. Поле равномерно движущегося заряда. Нерелятивистский предел.
14. Энергия системы зарядов во внешнем электростатическом поле.
15. Потенциалы и поля вдали от системы движущихся зарядов. Дипольный и квадрупольный моменты системы зарядов.
16. Квазистационарное магнитное поле. Закон Био-Савара. Магнитный момент системы зарядов.
17. Движение частицы в однородном магнитном поле.
18. Нерелятивистское движение частицы в перпендикулярных постоянных и однородных электрическом и магнитном полях.
19. Релятивистское движение частицы в параллельных однородных электрическом и магнитном полях.
20. Граничные задачи электростатики. Решение уравнения Пуассона.
21. Функция Грина уравнения Даламбера. Запаздывающие и опережающие потенциалы.
22. Решение граничных задач электростатики методом функции Грина. Единственность решения электростатических задач Дирихле и Неймана.
23. Дипольное излучение.
24. Плоская монохроматическая волна, волновая зона. Поляризация электромагнитной волны. Доплер эффект.

### **Вопросы к экзамену по разделу «Электродинамика сплошных сред»**

1. *Усреднение уравнений Максвелла в среде, поляризация и намагниченность среды, векторы индукции и напряженностей полей. Граничные условия.*
2. *Энергия электростатического поля в диэлектрике. Пондеромоторные силы*
3. *Электростатика диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость. Изотропные диэлектрики. Граничные условия при наличии диэлектриков.*
4. *Магнитное поле ограниченного распределения токов, магнитный момент. Макроскопические уравнения магнитостатики сплошных сред. Граничные условия для индукции и напряженности магнитного поля.*
5. *Магнитостатика сплошных сред. Диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные среды.*
6. *Ферромагнетизм. Гистерезис. Доменная структура ферромагнетиков.*
7. *Электростатика проводников. Энергия электростатического поля системы проводников.*
8. *Дисперсия диэлектрической проницаемости, поглощение, формулы Крамерса-Кронига.*
9. *Отражение и преломление волн на границе диэлектрических сред.*
10. *Проводники. Закон Ома. Модель проводимости Друде.*
11. *Эффект Холла.*
12. *Плоские волны в проводящей среде. Скин-эффект.*
13. *Уравнения магнитной гидродинамики. Магнитное давление. Магнитогидродинамические волны (Альфвеновские волны). Высокочастотные плазменные колебания и волны.*
14. *Дебаевское экранирование заряда в плазме.*
15. *Излучение Вавилова-Черенкова.*
16. *Электромагнитные флуктуации. Флуктуационно-диссипативная теорема.*
17. *Нелинейные среды. Преобразование частот, нелинейная проницаемость, самофокусировка.*
18. *Эффективная макроскопическая теория сверхпроводимости. Теория Гинзбурга-Ландау и абелева модель Хиггса. Спонтанное нарушение калибровочной симметрии и эффект Мейснера.*

