

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»  
Факультет фундаментальной физико-химической инженерии

**УТВЕРЖДЕН**

на заседании Ученого совета

« 14 » июня 2013 г.

протокол № 4

Заместитель декана по учебной работе

\_\_\_\_\_ / Григорьева Л.Д. /

« 14 » июня 2013 г.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

## дисциплины «ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

Специальности  
010701 "Физика"  
020101 "Химия"

Квалификации  
"Физик"  
"Химик"

Форма обучения  
очная

**УМК** соответствует учебному плану  
подготовки,  
утвержденному ректором Московского  
государственного университета им.  
М.В.Ломоносова академиком РАН В.А.  
Садовничим 23.10.2009

## Название дисциплины: Электродинамика.

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины:

**Цели:** изучение классической электродинамики, изучение основ теории поля, углубление знаний в области электричества и магнетизма, полученных в курсе общей физики.

**Задачи:** познакомить студентов с современным подходом к электродинамике как к теории поля, показать на примере электродинамики работу общих методов теории поля, упорядочить и углубить знания, полученные в курсе общей физики.

### 2. Требования к результатам освоения содержания дисциплины:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** основы классической электродинамики, основы классической теории поля, понимать место классической электродинамики в современной физике.

**Уметь:** формулировать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе; получать решения, проводить их математическую обработку.

**Владеть:** расчетными методами решения задач, навыками поиска данных в открытых источниках (в том числе, в информационных базах данных) и применять их при решении практических задач.

**Приобрести опыт деятельности:** в анализе, формулировке и решении конкретных задач, интересующих фундаментальную науку и практику.

### 3. Содержание и структура дисциплины

3.1. Содержание разделов дисциплины (К – коллоквиум, Т – проверочная самостоятельная работа (тест), РК - рубежная контрольная работа, ДЗ – домашнее задание, РГЗ – расчетно-графическое задание)

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Специальная теория относительности	Инерциальные системы отсчета, принцип относительности Эйнштейна. Координаты события, четырехмерное пространство, метрический тензор. Интервал, инвариантность интервала, преобразования Лоренца, 4-х мерные векторы и тензоры, контравариантные и ковариантные компоненты, группа Лоренца и Пуанкаре. Релятивистская кинематика, сложение скоростей.	ДЗ

2	Электродинамика и теория поля	<p>Принцип наименьшего действия в классической механике, действие, функция Лагранжа, уравнения Лагранжа. Релятивистская функция Лагранжа, релятивистское действие. Уравнения движения в 3-х мерной и 4-х мерной формах, связь энергии и импульса.</p> <p>Заряд во внешнем электромагнитном поле: 4-потенциал электромагнитного поля, действие, функция Лагранжа, гамильтониан для заряда во внешнем электромагнитном поле. Уравнения движения в трехмерной и четырехмерной формах. Тензор электромагнитного поля, связь с напряженностью электрического поля и с индукцией магнитного поля.</p> <p>Действие для электромагнитного поля. Микроскопические уравнения Максвелла, релятивистская инвариантность уравнений Максвелла. Закон сохранения заряда, энергии, импульса, момента импульса. Вектор Пойнтинга. Калибровочная инвариантность.</p>	ДЗ, РК
3	Математический аппарат	Векторный анализ как математический аппарат классической электродинамики.	ДЗ
4	Электростатика	<p>Уравнения электростатического поля. Скалярный потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа. Граничные условия для потенциала на поверхностях проводников и диэлектриков. Теорема о единственности решения. Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Прямые и обратные задачи электростатики. Методы решения задач электростатики: общее решение уравнения Пуассона, метод разделения переменных в различных системах координат. Мультипольное разложение для электрического поля.</p>	ДЗ
5	Токостатика	Уравнения теории постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия для плотности тока. Формальная аналогия с электростатикой, примеры ее использования для решения токовых задач. Сопротивление, закон Джоуля-Ленца. Законы Кирхгофа, метод	ДЗ

		контурных токов.	
6	Магнитостатика	Уравнения магнитного поля постоянных токов. Векторный потенциал. Уравнение для векторного потенциала в однородной среде и его решение. Закон Био-Савара-Лапласа. Скалярный потенциал магнитного поля. Магнитный листок как эквивалент линейного контура с током. Аналогия между магнитостатическими и электростатическими полями. Мультипольное разложение для магнитного поля. Поля намагниченных тел. Замена намагниченности эквивалентными электрическими токами или магнитными зарядами. Магнитные цепи. Понятие магнитного сопротивления. Законы Кирхгофа для магнитных цепей.	ДЗ, РК
7	Квазистационарные процессы	Квазистационарные процессы в проводящих средах. Распределение переменных полей и токов в проводящем полупространстве. Скин-эффект. Граничные условия Леонтовича. Квазистационарные процессы в цепях с сосредоточенными параметрами. Законы Кирхгофа для цепей переменного тока.	ДЗ
8	Уравнения Максвелла	Макроскопические уравнения Максвелла (в дифференциальной и интегральной форме) для поля в материальной среде как результат усреднения микроскопических уравнений. Понятие векторов средних макроскопических напряженностей электрического и магнитного полей, электрической и магнитной поляризации. Материальные уравнения для различных сред. Диэлектрическая и магнитная проницаемости, проводимость. Понятие временной и пространственной дисперсии. Граничные условия для различных сред.	ДЗ
9	Электромагнитные волны в пространстве	Волновые уравнения для потенциалов. Градиентная инвариантность. Условие калибровки Лоренца. Однородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Ориентация векторов электрического и магнитного поля. Дисперсионное соотношение.	ДЗ

		Поляризация волны, длина волны, фазовая скорость, характеристический импеданс (волновое сопротивление). Плотность потока энергии в плоской волне. Плоские волны в поглощающей среде. Преобразование Лоренца для волнового вектора и частоты. Дисперсия и дисперсионное уравнение для волн. Левые среды и волны в них.	
10	Электромагнитные волны в волноводах	Неоднородные волны в волноводах и резонаторах, фазовые и групповые скорости. Волны в резонаторах. Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред, раздела двух сред (формулы Френеля). Нормальное падение, наклонное падение, угол Брюстера, полное внутреннее отражение. Возникновение неоднородных плоских волн при полном отражении. Излучение и рассеяние, радиационное трение.	ДЗ, РК
11	Дифракция и интерференция	Интерференция и дифракция волн, зоны Френеля и Фраунгофера. Принцип Гюйгенса-Френеля; эквивалентные вторичные источники. Коротковолновые приближения в теории дифракции. Метод геометрической оптики. Метод физической оптики. Принципы голографии.	ДЗ
12	Излучение волн	Запаздывающие потенциалы. Поле системы зарядов на больших расстояниях, дипольное, квадрупольное и магнито-дипольное излучение. Вектор Герца. Естественная ширина линии.	ДЗ

### 3.2. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 102 часа, из них лекции – 36 часов, семинары – 36 часов, самостоятельная работа – 30 часов.

Вид работы	Семестр 5	Всего
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>102</b>	<b>102</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
<b>Лабораторные работы (ЛР)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Вид итогового контроля</b>	зачет	

## Разделы дисциплины по семестрам

№ раздела	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Специальная теория относительности	10	4	4		2
2	Электродинамика и теория поля	10	4	4		2
3	Математический аппарат	6	2	2		2
4	Электростатика	8	4	2		2
5	Токостатика	6	2	2		2
6	Магнитостатика	8	2	4		2
7	Квазистационарные процессы	10	4	4		2
8	Уравнения Максвелла	10	2	4		4
9	Электромагнитные волны в пространстве	10	4	2		4
10	Электромагнитные волны в волноводах	8	2	4		2
11	Дифракция и интерференция	8	2	2		4
12	Излучение волн	8	4	2		2
	Итого	102	36	36		30

## 3.3. Практические занятия (семинары)

№ раздела	№ занятия	Тема	Кол-во часов
1	1	Физика и математика специальной ТО.	2
	2	Релятивистская инвариантность и кинематика.	2
2	3	Динамика релятивистской частицы. Динамика заряда во внешнем электромагнитном поле.	2
	4	Действие и уравнения Максвелла электромагнитного поля. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.	2
3	5	Классическая электродинамика ее математический аппарат (векторный анализ, операции, формулы).	2
4	6	Уравнения электростатического поля. Теоремы о единственности, минимуме и максимуме потенциала. Прямые и обратные задачи электростатики. Методы решения задач электростатики. Мультипольное разложение для электрического поля.	2

5	7	Уравнения токостатики в проводящей среде, аналогия с электростатикой, примеры ее использования. Законы Кирхгофа, метод контурных токов.	2
6	8	Уравнения магнитного поля постоянных токов. Уравнение для векторного потенциала и его решение. Скалярный потенциал магнитного поля. Аналогия между магнитостатикой и электростатикой.	2
	9	Мультипольное разложение для магнитного поля. Поля намагниченных тел. Замена намагниченности эквивалентными электрическими токами или магнитными зарядами.	2
7	10	Квазистационарные процессы в проводящих средах. Скин-эффект. Граничные условия Леонтовича.	2
	11	Квазистационарные процессы в цепях с сосредоточенными параметрами.	2
8	12	Макроскопические уравнения Максвелла в средах. Материальные уравнения для различных сред.	2
	13	Диэлектрическая и магнитная проницаемости, проводимость. Временная и пространственная дисперсии. Граничные условия для границ раздела.	2
9	14	Волновые уравнения для потенциалов. Однородные плоские волны в непоглощающей изотропной среде. Дисперсия и дисперсионное уравнение для волн. Плотность потока энергии в плоской волне.	2
10	15	Неоднородные волны в волноводах и резонаторах, фазовые и групповые скорости. Волны в резонаторах.	2
	16	Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред, раздела двух сред.	2
11	17	Интерференция и дифракция волн. Принцип Гюйгенса-Френеля, принципы голографии.	2
12	18	Запаздывающие потенциалы, излучение волн: дипольное, квадрупольное и магнито-дипольное излучение. Естественная ширина линии.	2

#### 3.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплин

№ раздела	№ вопроса	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	1	4-х мерные векторы и тензоры	2
2	2	Тензор энергии-импульса поля.	2
3	3	Векторный анализ, криволинейные координаты.	2
4	4	Мультипольное разложение	2
5	5	Метод контурных токов, применение ТФКП.	2
6	6	Эффективные магнитные заряды и монополи	2
7	7	Высокочастотные свойства материалов	2
8	8	Материальные уравнения	4
9	9	Преобразование Фурье	4
10	10	Применение волноводов и резонаторов	2
11	11	Принципы голографии	4
12	12	Радиоволны и радиосвязь	2

#### 4. Образовательные технологии

4.1. Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Семестр	Вид занятия	Интерактивные образовательные технологии	Кол-во часов
5	Лекции, семинары	мультимедийный проектор, презентация, интерактивная доска	72
Итого			72

#### 5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

##### Задачи для рубежных контрольных работ

1. Вывести формулы преобразования Лоренца, релятивистский закон сложения скоростей.
2. Время, измеряемое часами, покоящимися относительно тела, называется собственным временем этого тела. Как собственное время движущегося тела связано со временем в “неподвижной” системе отсчета (с выводом). Как связаны длины стержня в “неподвижной” системе отсчета и в системе отсчета, неподвижной относительно стержня (с выводом).
3. Плоское зеркало движется со скоростью  $v$  в направлении своей нормали. На зеркало падает монохроматическая волна под углом  $\theta$  к нормали. Считая, что для покоящегося зеркала справедлив обычный закон отражения, определить частоту и направление отраженной волны.
4. Найти движение релятивистской частицы массы  $m$  и заряда,  $e$  перпендикулярных электрическом и магнитном полях  $\vec{E}, \vec{H}$ .
5. Найти частоту колебаний заряженного трехмерного осциллятора, помещенного в однородное магнитное поле. Обсудить траекторию движения.
6. Найдите напряженность, потенциал поля точечного заряда  $q$ , расположенного на расстоянии  $d$  от центра проводящей сферы радиуса  $a$ . Рассмотрите три случая: сфера заземлена, сфера изолирована и не имеет собственного заряда, сфера изолирована и имеет заряд  $Q$ . Чему равна поверхностная плотность заряда на сфере?
7. (а) Шар радиуса  $R$  имеет однородную поляризацию  $\vec{P}$ . Найти напряженность и потенциал внутри и вне шара. (б) Объемная плотность заряда внутри шара радиуса  $R$  задана выражением  $\rho = \vec{a} \cdot \vec{r}$ , где  $\vec{a}$  постоянный вектор,  $\vec{r}$  - радиус вектор из центра шара. Найти напряженность поля внутри и снаружи шара.
8. Найти тензор квадрупольного момента однородно заряженного эллипсоида относительно его центра. Найти электрическое поле на больших расстояниях от



эллипсоида. Найти потенциал электрического поля на больших расстояниях от системы зарядов:  $q, -2q, q$ , расположенных в точках  $0,0,a$ ;  $0,0,0$ ;  $0,0,-a$ .

9. Определить потенциальную энергию взаимодействия двух электрических диполей с моментами  $\vec{d}_1, \vec{d}_2$ , магнитную энергию взаимодействия магнитных диполей с моментами  $\vec{\mu}_1, \vec{\mu}_2$ .

10. Концы двух тонких проволочек касаются горизонтальной поверхности электролита, налитого в широкий и глубокий сосуд. Между ними пропущен ток силы  $I$ . Найти плотность тока  $\vec{j}$  в электролите.

11. Бесконечный проводящий слой имеет неоднородную проводимость  $\sigma(x) = C\sqrt{|x|} + \varepsilon$ ,  $\varepsilon > 0$ . Ось  $x$  перпендикулярна границам слоя, имеющим координаты  $x = \pm a$ . Между границами поддерживается постоянная разность потенциалов  $U$ . При  $\varepsilon \rightarrow 0$  найти: (а) объемную плотность джоулевых потерь в слое  $q(x)$ , (б) сопротивление  $R$  и мощность потерь на единицу площади.

12. Постоянный ток силы  $I$  течет в направлении некоторого центра  $O$ , где происходит накопление заряда. Найти магнитное поле для следующих распределений тока в пространстве.

А) Линейный ток, текущий по полупрямой, обрывающейся в точке  $O$ .

Б) Поверхностный ток, распределенный по плоскости радиально-симметрично относительно  $O$ .

В) Радиально-симметричный объемный ток.

13. По плоскости  $z = 0$  течет поверхностный ток плотностью  $\vec{i} = \vec{y}_0 i_0 \cos kx$ . Найти магнитное поле этого тока.

14. На пластины плоского конденсатора помещены заряды  $\pm q$ . В момент  $t = 0$  среда между пластинами приобретает конечную проводимость  $\sigma = const$ , диэлектрическая проницаемость среды  $\varepsilon$ . Найти, пренебрегая краевыми эффектами ток разряда конденсатора  $I(t)$  и магнитное поле между пластинами.

15. Заряженная частица  $q$  движется от одной обкладки плоского конденсатора к другой со скоростью  $v(t)$ . Обкладки конденсатора соединены через амперметр. Найти зависимость тока в цепи от времени.

16. Частица массой  $m$  и зарядом  $e$  пролетает по диаметру шара радиуса  $R$ , внутри которого равномерно распределен заряд  $Q$ . Заряды частицы и шара противоположного знака. Перед влетом в шар частица имела энергию  $E_0$ . Определить энергию  $E$ , теряемую частицей на дипольное излучение.

17. Векторный потенциал плоской линейно-поляризованной волны имеет вид  $\vec{A} = \vec{l} F(\omega t - \vec{k}\vec{r})$ , где  $\vec{l}$  - постоянный вектор,  $\omega = kc$ ,  $F$  - дифференцируемая функция. В рассматриваемой калибровке скалярный потенциал равен нулю тождественно и  $div \vec{A} = 0$ . Определить вектор Пойнтинга и объемную плотность энергии.

18. Точечный заряд  $q$  движется по окружности радиуса  $a$  с постоянной скоростью  $V$ . Найти вектор дипольного момента и тензор квадрупольного момента данного заряда относительно центра орбиты. Найти и сравнить между собой средние по периоду мощности излучения на первой  $P_{\omega}$  и второй  $P_{2\omega}$  гармониках, где  $\omega = V/a$ .

19. Определить электрическое и магнитное поле гармонически колеблющегося диполя на расстояниях  $r$  много больших размера диполя  $a$ , но необязательно больших длины волны  $\lambda$ .

20. Две монохроматические волны, поляризованные по кругу и в противоположные стороны, имеют одинаковые амплитуды и распространяются в одном направлении. Частоты волн разные и удовлетворяют условию  $|\omega_1 - \omega_2| \ll \omega_1 + \omega_2$ . Определить поляризацию результирующей волны.

### **Вопросы для подготовки к зачету:**

1. Специальная теория относительности (кинематика).
2. Специальная теория относительности (динамика).
3. Уравнения Максвелла в 4-мерном виде (вывод).
4. Уравнения Максвелла в 3-мерном виде (дифференциальная и интегральная формы).
5. Уравнения Максвелла в веществе, типы граничных условий.
6. Электростатика (уравнения, постановка задач, методы решения, основные результаты).
7. Магнитостатика (уравнения, постановка задач, методы решения, основные результаты).
8. Электрическое и магнитное поля на больших расстояниях (мультипольное разложение).
9. Токостатика (цепи постоянного тока).
10. Квазистационарные явления (цепи переменного тока).
11. Волны в вакууме и веществе, отражение и преломление волн.
12. Волны в волноводах (ТЕ и ТМ волны).
13. Излучение волн: дипольное, квадрупольное, магнито дипольное излучение.
14. Основные операции векторного анализа (градиент, дивергенция, ротор, теоремы Остроградского-Гаусса, Стокса, короткие задачи).

### **Вопросы для подготовки к экзамену:**

1. Принцип относительности и конечность скорости распространения взаимодействия. События, четырехмерное пространство событий, мировая точка, мировая линия, 4-векторы и 4-тензоры.
2. Интервал, его инвариантность, пространство Минковского. Времениподобные и пространственноподобные интервалы.
3. Преобразования Галилея и преобразования Лоренца. 4-векторы и 4-тензоры, контравариантные и ковариантные компоненты. Физические величины, являющиеся 4-векторами и 4-тензорами.
4. Группы преобразований Лоренца и Пуанкаре, принцип инвариантности в физике. 4-векторы и 4-тензоры, контравариантные и ковариантные компоненты, метрический тензор.
5. Релятивистская динамика заряженной частицы в трехмерной форме: функция Лагранжа, уравнения движения, импульс, энергия (трехмерная форма).
6. Релятивистская динамика заряженной частицы в четырехмерной форме. Функция Лагранжа, уравнения движения, импульс, энергия (четырёхмерная форма). Тензор электромагнитного поля.
7. Действие электромагнитного поля. Первая пара уравнений Максвелла в четырех и в трехмерной формах (с выводом).

8. Действие электромагнитного поля. Вторая пара уравнений Максвелла в четырех и в трехмерной формах (с выводом).
9. Уравнения Даламбера и калибровочная инвариантность. Калибровка Лоренца, Кулона.
10. Основные уравнения электростатики и их общее решение в бесконечном пространстве. Основные задачи электростатики в ограниченных областях.
11. Уравнения Лапласа и Пуассона декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Метод разделения переменных.
12. Методы решения задач электростатики: принцип суперпозиции, метод изображений, теорема взаимности (с примерами).
13. Потенциал электрического диполя, мультипольное разложение. Дипольный и квадрупольный момент. Электрическое поле элементарного диполя.
14. Электрические и магнитные поля в веществе, индукция и напряженность.
15. Уравнения Максвелла в веществе (в любой форме), закон сохранения заряда.
16. Сопротивление, законы Ома и Джоуля-Ленца, законы Кирхгофа, контурные токи.
17. Волны в проводящих средах, скин эффект. Волны в проводящих средах, нормальный и аномальный скин-эффекты, поверхностный импеданс.
18. Уравнения векторного потенциала постоянных токов и его решение.
19. Волновые уравнения, плоские однородные монохроматические волны.
20. Энергия электромагнитного поля, вектор Пойнтинга, закон сохранения энергии.
21. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе двух сред.
22. Формулы Френеля, угол Брюстера и угол полного внутреннего отражения.
23. Неоднородные волны в прямоугольном волноводе. ТЕ и ТМ волны.
24. Уравнения для потенциалов при наличии зарядов и токов, запаздывающие потенциалы.
25. Токостатика: уравнения теории для постоянных токов, граничные условия для токов.
26. Дипольное, квадрупольное и магнито-дипольное излучение.
27. Магнитное поле системы токов, мультипольное разложение, магнитный момент.
28. Цепи переменного тока, метод комплексных амплитуд, комплексный импеданс..
29. Дифракция и принцип Гюйгенса-Френеля.
30. Интерференция, понятие о голографии.

## **6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### 6.1. Основная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория Поля. М., Наука, 1982.
2. Дж. Джексон. Классическая электродинамика. М., Мир, 1965.
3. В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. Сборник задач по электродинамике. М., Наука, 1970.

### 6.2. Дополнительная литература

D.J. Griffiths. Introduction to Electrodynamics. Prentice Hall, New Jersey

J.R. Reitz. Foundation of Electromagnetic Theory. Addison-Wesley Publishing Company, London, England.

## **Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные занятия проводятся в специально оборудованной аудитории с мультимедийным оборудованием. Вспомогательный материал в виде презентаций и электронных учебных материалов доступен студентам на сайте факультета.

**Discipline name: Electrodynamics.**

**1. Purposes of discipline familiarization:**

Objectives: study of classical electrodynamics, learning the basic notions of field theory, improvement of knowledge in the field of electricity and magnetism, obtained in the course of general physics.

Problems: acquaint students with the modern approach to electrodynamics as a field theory, demonstrate how the general field theory methods work in electrodynamics, streamline and deepen the knowledge gained in the course of general physics.

**2. A discipline Place in structure OOP VPO**

The discipline concerns block V-PD in a preparation direction «Applied mathematics and physics»

Structural element of OOP ВПО - БМ (the bachelor of the Moscow State University) in a preparation direction «Applied mathematics and physics»

The discipline concerns to вариативной parts of an educational cycle.

**3. Requirements to results of development of the maintenance of discipline:**

**(1) Universal (OK):**

**(a) General scientific:**

Possession knowledge of a subject and objects of studying, methods of research, modern concepts, achievements and restrictions of natural sciences: physicists, chemistry, biology, sciences about the earth and the person, ecology; possession of bases of methodology of scientific knowledge of various levels of the organization of a matter, space and time; ability, using interdisciplinary system communications of sciences, independently to allocate and solve the basic world outlook both methodological natural-science and social problems for the purpose of sustainable development planning (ОHK-1);

Possession of methodology of scientific researches in professional area, knowledge of bases of business dialogue (ОHK-4);

Readiness to use knowledge as tools for the complete decision of informative and professional problems (ОHK-5);

Possession of base sections of mathematics, physics, chemistry, computer science and the programming, necessary for the decision of problems in professional area (ОHK-6);

Ability to use in professional work base knowledge in area of mathematics, physics, chemistry, computer science and programming (ОHK-7);

Ability to create mathematical models of typical professional problems and to interpret the received mathematical results, possession of knowledge of restrictions and borders of applicability of models (ОHK-8);

Possession of knowledge in area of technics, technology and innovation, necessary for practical development of modern technical systems and technologies, for the decision of research and practical problems in professional area (ОHK-9);

(b) The tool:

Possession of norms of Russian literary language and functional styles of speech; ability to show in speech dialogue personal and professional culture, spiritually-moral belief; ability to put and solve communicative problems in all spheres of dialogue to operate processes of an information exchange in various communicative (ИК-1 environments);

Possession of skills of use of software and work in computer networks uses of resources the Internet; possession of the basic methods, ways and means of reception, storage, and information processing (ИК-3);

Ability to use modern computer facilities and the specialized software in research work (ИК-4);

Possession of the basic methods of protection of the industrial personnel and the population from possible consequences of failures, accidents, acts of nature (ИК-7);

Possession of means of independent, methodically correct use of methods of physical training and health strengthening, readiness for achievement of due level of physical readiness for maintenance high-grade social and professional work (ИК-8);

Possession of methods of patent search and knowledge in the field of the patent researches, necessary in professional work (ИК-9);

Possession of skills of management of the information for writing of reports, reports, reviews and articles (ИК-10);

Possession of methods of the tool researches necessary for carrying out of experimental works in professional area (ИК-11);

Ability to the analysis of knowledge and their synthesis in professional work sphere (ИК-12);

Ability to the organization and planning of experimental and theoretical researches in professional work and to forming of strategy of research work (ИК-13);

(c) The system:

Ability to creativity, generation of innovative ideas, promotion of independent hypotheses (CK-1);

Ability to search, the critical analysis, generalization and ordering of the scientific information, to statement of research objectives and choice of optimum ways and methods of their achievement (CK-2);

Ability to independent training and working out of new methods of research, to change of a scientific and research-and-production profile of activity; to innovative scientifically-educational activity (CK-3);

Ability to put knowledge into practice (CK-4);

Ability to working out of projects and their management, ability to leadership (CK-5);

Ability to the initiative and business, ability to work independently (CK-6);

## **(2) Professional (personal computers):**

Possession of skills and methodological culture of application of the received fundamental knowledge in area of mathematics, physics, chemistry and biology for performance of scientific researches (PC 1);

Ability to work with the modern software, devices and installations to apply experimental and theoretical methods of researches and to process the received experimental data for performance of a concrete research and engineering problem (PC 2);

Ability to apply the theory and methods of mathematics, physics and computer science for construction of qualitative and quantitative models (PC 3);

Ability to work with the scientific literature, readiness to compare known experimental and theoretical results with the received original

By experimental and theoretical results and to do substantiated conclusions (PC 4);

Readiness to discuss in the scientific environment the received experimental and theoretical results and to do conclusions; ability to state the received scientific results in the oral form (presentations and reports at conferences) and the written form (articles, reviews, messages) (PC 5).

Possession of skills of planning and control of performance of the established plans in professional work sphere (PC 6);

Ability to active search of the new information, ability to work with various sources of the information; readiness to analyze and solve engineering problems with use of the interdisciplinary approach (PC 7);

Readiness for creation of competitive production on the basis of the received fundamental knowledge (PC 9);

Ability to participate in working out of breadboard models of products and their modules and to apply instrumentation to definition of technical characteristics of breadboard models (PC 10);

Ability to combine research and engineering-industrial activity for working out of the high technologies providing creation of substances, materials and complex artificial systems with the set properties (PC 11);

Readiness for search of technical and technological innovations, susceptibility for innovations (PC 12);

Readiness for carrying out of experimental works on check and development of technical and technological innovations (PC 13);

Readiness for working out of programs of carrying out of research and engineering-industrial works on all chain of an innovative cycle (PC 14);

Readiness for commercialization of scientific workings out (PC 15).

Readiness for communications and work as a part of collective of executors in scientifically - research and engineering-industrial spheres (PC 16);

Possession of skills of management of research and engineering-industrial activity for creation of a healthy, safe and productive working environment, maintenance of conformity of products of professional work to the quality standards (PC 17);

Possession of the basic methods of a management: statements and distributions of problems, delegation and control, feedback and an estimation of execution, training on a workplace, individual and group decision-making (PC 18);

Readiness to show in practice aspiration and ability to realize the potential (knowledge, abilities, experience, personal qualities) the expert of new generation for the economy based on knowledge, for successful productive activity in professional and social spheres (PC 19);

#### **As a result of discipline familiarization a student must:**

**To Know:** foundations of classical electrodynamics, classical field theory basics, understand the place of classical electrodynamics in modern physics.

**To be able:** formulate specific tasks based on the laws and laws developed in the course; receive solutions, carry out their mathematical treatment.

**To own:** settlement methods of the decision of problems, skills of search of the data in open sources (including, in information databases) and to apply them at the decision of practical problems.

**To gain activity experience:** in the analysis, the formulation and the decision of the specific targets, interesting fundamental science and practice.

#### **4. The Maintenance and discipline structure**

4.1. The maintenance of sections of discipline (C- a colloquium, T – testing work, FCW – frontier control work, HW - homework, SGT - the settlement-graphic task)

Section #	Section name	Section content	Form of control
1	Special theory of relativity	Inertial reference systems, the principle of relativity. Coordinates of the event, 4-dimensional space, the metric tensor. Interval, its invariance, Lorentz transformations, 4-dimensional vectors and tensors, contra-variant and covariant components, Lorentz and Poincare groups. Relativistic kinematics, addition of velocities.	HW
2	Dynamics of a relativistic particle	Principle of extreme action in classical mechanics, action, Lagrange function, Lagrange equations. Relativistic Lagrange function, the relativistic effect. Equations of motion in three-dimensional and four-dimensional forms, the relationship of energy and momentum.	HW
3	Electrodynamics as classical field theory	Charge in an external electromagnetic field, 4-potential of the electromagnetic field, the action, Lagrange function, the Hamiltonian for the charge in an external electromagnetic field. Equations of motion in three-dimensional and four-dimensional forms. The electromagnetic field tensor, the relation with the electric field strength and magnetic field induction. Action for the electromagnetic field. Maxwell's equations, the relativistic invariance of Maxwell's equations. The charge conservation law, the law of conservation of energy, Poynting's vector. Gauge invariance.	HW, FCW
4	Classical Electrodynamics and mathematical technics	Classification of electromagnetic phenomena: electrostatics, current-statics (constant currents), magneto-statics (constant magnetic field), quasi-stationary processes, the wave field. Vector analysis as a mathematical formalism of classical electrodynamics.	HW
5	Electrostatics	Electrostatic field equations. Scalar potential. Poisson's and Laplace's equation. The boundary conditions for the potential on the surface of conductors and insulators. Uniqueness theorem for the solutions. A theorem on the minimum and maximum potential. Direct and inverse problems of electrostatics. Methods for solving problems of electrostatics general solution of the Poisson equation, the method of separation of variables in different coordinate systems. Multi-pole expansion of the electric field.	HW

6	Current-statics	Equations of the theory of permanent currents in the conductive medium. The boundary conditions for the current density. Formal analogy with electrostatics, examples of its use to solve current problems. Electrical resistance, Joule-Lenz. Kirchhoff laws, the method of loop currents.	HW
7	Magneto-statics	Magnetic field equations of direct currents. Vector potential, equation for the vector potential in a homogeneous medium and its solution. The Biot - Savant- Laplace law. The scalar potential of the magnetic field. The analogy between the magneto-static and electrostatic fields. Multi-pole expansion of the magnetic field. Field of magnetized bodies. Replacing magnetization by equivalent electric currents or magnetic charges. Magnetic circuit. Concept of magnetic resistance. Kirchhoff's laws of magnetic circuits.	HW, FCW
8	Quasi stationary processes	Quasi-stationary processes in conducting media. Distribution of alternating fields and currents in the conductive half-space. Skin effect. Leontovich boundary conditions. Quasi-stationary processes in circuits with lumped parameters. Kirchhoff's laws for AC circuits.	HW
9	Maxwell's equations	Macroscopic Maxwell's equations (in differential and integral form) for a field in a material medium as a result of averaging the microscopic equations. Vectors of average macroscopic electric and magnetic fields, electric and magnetic polarization. The material equations for different mediums. Permittivity and permeability, conductivity. The notion of temporal and spatial dispersion. Boundary conditions for different mediums.	HW
10	Electromagnetic waves in an infinite medium	Wave equations for the potentials. Gauge invariance, Lorentz gauge condition. Uniform plane wave in a non-absorbing isotropic medium. Orientation of the vectors of the electric and magnetic field. Dispersion relation. Wave polarization, wavelength, phase velocity, characteristic impedance (wave impedance). Energy flux density in a plane wave. Plane waves in the absorbing medium. Lorentz transformation of the wave vector and frequency. Dispersion and dispersion equation for waves. Left medium and waves therein.	HW
11	Electromagnetic waves in the presence of boundaries	Inhomogeneous waves in waveguides and resonators, phase and group velocities. Waves in the resonators. Reflection and refraction of plane waves at the interface of two media, two media (Fresnel's formulas). Normal incidence, oblique incidence, Brewster angle, total internal	HW, FCW



		reflection. Occurrence of inhomogeneous plane waves in total reflection.	
12	Diffraction and interference	Diffraction and interference of waves, Fresnel's zones and Fraunhofer's zones. Huygens-Fresnel's principle, equivalent secondary sources. Short-wave approximation in the theory of diffraction. The method of geometrical optics. The method of physical optics. Principles of holography.	HW
13	Radiation of electromagnetic waves	Retarded potentials. Field of the system of charges at large distances, the dipole, quadrupole and magnetic dipole radiation. Hertz vector. Natural line width	HW, FCW

#### 4.2. Discipline Structure

The general labour input of discipline makes 2 test units (72), of them 1 - lectures (36 hours), 1 - independent work of students (36 hours)

Work kind	The Semester 3	All
The general labour input	<b>72</b>	<b>72</b>
Auditornaja work:	<b>36</b>	<b>36</b>
Lectures	1 (36)	1 (36)
Independent work	<b>36</b>	<b>36</b>
Kind of total control	Offset, examination	6

#### Sections of discipline with respect to semesters

№ section	The section Name	Quantity of hours				
		In total	Auditornaja work			Out-of-class work
			II	III	IV	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
	Total:					

#### 4.3.

Section #	№ LW	Title of laboratory works	Number of hours


## 4.4. Seminars

Section #	Seminar #	Seminar topic	Number of hours
1	1	Physics and mathematics special theory of relativity.	2
	2	Relativistic invariance and relativistic kinematics.	2
2	3	Dynamics of a relativistic particle.	2
3	4	Dynamics of charge in an external electromagnetic field.	2
	5	Action and equations (Maxwell) for electromagnetic field.	2
	6	Frontier control work (seminars № 1-5)	2
4	7	Classical Electrodynamics its mathematical apparatus (vector analysis, operations, formulas).	2
5	8	Electrostatic field equations. The uniqueness theorem, the minimum and maximum potential.	2
	9	Direct and inverse problems of electrostatics. Methods for solving problems of electrostatics. Multipole expansion of the electric field.	2
6	10	Current-statics equation in a conducting medium, the analogy with electrostatics, examples of its use.	2
	11	Kirchhoff laws, method of loop currents.	2
7	12	Equation of the magnetic field of permanent currents. Equation for the vector potential and its solution.	2
	13	The scalar potential of the magnetic field. The analogy between electrostatics and magnetostatics.	2
	14	Multipole expansion of the magnetic field. Field magnetized bodies. Replacing magnetization equivalent electric currents or magnetic charges.	2
	15	Frontier control work (seminars № 7-14)	2
8	16	Quasi-stationary processes in conducting media. Skin effect. Leontovich boundary conditions.	2
	17	Quasi-stationary processes in circuits with lumped parameters.	2
9	18	The macroscopic Maxwell equations in media. The constitutive equations for different environments.	2
	19	Permittivity and permeability, conductivity. Temporal and spatial dispersion. Boundary conditions at interfaces.	2
10	20	Wave equations for the potentials. Uniform plane wave in a non-absorbing isotropic medium.	2
	21	Dispersion and dispersion equation for waves. Energy flux density in a plane wave.	2
11	22	Evanescence waves in waveguides and resonators, phase and group velocities. Waves in resonators.	2
	23	Reflection and refraction of plane waves at the interface of two media, two media.	2
	24	Frontier control work (seminars № 16-23)	2
12	25	Interference and diffraction of waves. Huygens-Fresnel principle, the principles of holography.	2
13	26	Retarded potentials, radiation waves	2

	27	Frontier control work (seminars № 25-26)	2
--	----	--	---

4.4. The Term paper (possible themes)

4.5. Independent studying of sections of disciplines

4.6.

№ section	№ question	The Questions which are taken out on independent studying	Number of hours
1	1		
	2		
	3		
2	4		
	5		
	6		
3	7		
4	7		
5	8		
6	9		
7	10		
8	11		
9	12		

## 5. Educational technologies

5.1. The Interactive educational technologies used in аудиторных employment  
 Semester An employment Kind Interactive educational technologies at o'clock  
 Multimedia projector, presentation, interactive board 36

Total 36

## 6. Estimated means for current control of progress and intermediate certification

### Problems for frontier control works (semester 5)

1. Derive formulas Lorentz transformation, relativistic velocity addition law.
2. Time measured by the clock at rest relative to the body, is called proper time of this body. As the proper time of a moving body is associated with time in "fixed" reference system (with output) . How are the length of the rod in the "fixed" reference frame and the reference frame fixed relative to the rod (with output).
3. Flat mirror moving at the direction of its normal. To the mirror, monochromatic wave falls at an angle  $\theta$  to the normal. Considering that for the rest mirror just ordinary reflection law is applied, to determine the frequency and the direction of the reflected wave.

4. Find the motion of a relativistic particle mass  $m$  and charge  $e$  perpendicular electric and magnetic fields  $\vec{E}, \vec{H}$ .
5. Find the frequency of oscillation of the charged three-dimensional oscillator placed in a uniform magnetic field. Discuss the motion path.
6. Find strength and potential of electrical field of a point charge  $q$  located at a distance  $q$  from the center of a conducting sphere of radius  $a$ . Consider three cases: the sphere grounded sphere isolated and has no intrinsic charge sphere isolated and has a charge  $Q$ . What is the surface charge density on the sphere?
7. (a) A ball of radius  $R$  has a uniform polarization  $\vec{P}$ . Find strength and potential inside and outside of the ball. (b) Bulk density of the charge inside a sphere of radius  $R$  given by the expression  $\rho = \vec{a} \cdot \vec{r}$  where  $\vec{a}$  constant vector,  $\vec{r}$  - the radius vector from the center of the ball. Find the field intensity inside and outside the sphere.
8. Find the quadrupole moment tensor of a uniformly charged ellipsoid with respect to its center. Find the electric field at large distances from the ellipsoid. Find the electric potential at large distances from the system of charges  $q, -2q, q$ : located at the points  $0, 0, a$ ;  $0, 0, 0$ ;  $0, 0, -a$ .
9. Determine the potential energy of interaction between two electric dipoles with moments  $\vec{d}_1, \vec{d}_2$ , the magnetic interaction energy of magnetic dipoles with moments  $\vec{\mu}_1, \vec{\mu}_2$ .
10. Ends of the two thin wires touch the horizontal surface of the electrolyte, poured in a broad and deep vessel. Current passed between them  $I$ . Find the current density in the electrolyte  $\vec{j}$ .
11. Infinite conductive layer has a non-uniform conductivity  $\sigma(x) = C\sqrt{|x|} + \varepsilon, \varepsilon > 0$ . Axis  $x$  is perpendicular to the layer boundaries, having the coordinates  $x = \pm a$ . Between the boundaries maintained at a constant potential difference  $U$ . When  $\varepsilon \rightarrow 0$  find: (a) bulk density of the Joule losses in the layer, (b), the resistance and the power loss per unit area.
12. Constant current  $I$  power flowing in the direction of a center O where there is an accumulation of charge. Find the magnetic field following the current distribution in space.
  - A) Line current flowing through the half, cutting off at the point O.
  - B) Surface current distributed radially in a plane symmetrically relative O.
  - B) radially symmetric volumetric flow.
13. On a plane  $z = 0$  flow the surface current density flowing  $\vec{i} = \vec{y}_0 i_0 \cos kx$ . Find the magnetic field of the current.
14. On the plates of a plane capacitor placed charges  $\pm q$ . At the time  $t = 0$  of the medium between the plates acquires a finite conductivity  $\sigma = const$ , dielectric constant of the medium  $\varepsilon$ . Find neglecting the edge effects of the capacitor discharge current  $I(t)$  and the magnetic field between the plates.
15. A charged particle moves from one plate of capacitor to another one with speed  $\vec{v}$ . Capacitor plates are connected through an ammeter Find dependence of the current in the circuit from time to time.

16. Particle mass  $m$  and charge  $e$  flies in diameter sphere of radius  $R$ , inside of which is uniformly distributed charge  $Q$ . Charges of particles and the ball of the opposite sign. Before pouring in the sphere particle has energy  $E_0$ . Determine the energy lost by a particle on the dipole radiation.
17. The vector potential of a linearly polarized plane wave has the form  $\vec{A} = \vec{l} F(\omega t - \vec{k}\vec{r})$ , where  $\vec{l}$  is a constant vector,  $\omega = kc$ ,  $F$  being a differentiable function. In our calibration scalar potential is identically zero and  $\text{div}\vec{A} = 0$ . Determine the Poynting's vector and the volumetric energy density.
18. Point charge  $q$  moving in a circle of radius  $a$  at a constant speed  $V$ . Find the dipole moment vector and the quadrupole moment tensor given charge to the center of the orbit. Find and compare between them the mean over the period of the radiation power at the first and second harmonics, where  $\omega = V/a$ .
19. Determine the electric and magnetic field harmonically oscillating dipole at distances much greater than the size of the dipole  $a$ , but not necessarily larger than the wavelength.
20. Two monochromatic waves circularly polarized in opposite directions and have the same amplitude and spread in one direction. Wave frequencies are different and satisfy  $|\omega_1 - \omega_2| \ll \omega_1 + \omega_2$ . Determine the polarization of the resulting wave. Variants of examinations

### Questions for preparation for examination (a semester 5):

1. Special relativity (kinematics).
2. Special relativity (dynamics).
3. Maxwell's equations in 4-dimensional form.
4. Maxwell's equations in three -dimensional form (differential and integral forms).
5. Maxwell's equations in matter, types of boundary conditions.
6. Electrostatics (equation, setting goals, methods, main results).
7. Magneto-statics (equations, setting goals, methods, main results).
8. Electric and magnetic field at large distances (multi-pole expansion).
9. Current-statics (DC).
10. Quasi-stationary conditions (AC circuits).
11. Wave in vacuum and matter, reflection and refraction of waves.
12. Waves in waveguides (TE and TM waves).
13. Wave radiation: dipole, quadru-pole, magnetic dipole radiation.
14. Basic operations of vector analysis (gradient, divergence, curl, Gauss-Ostrogradskii Theorem, Stokes, short tasks)

### 7.Uchebno-methodical maintenance of discipline

#### 7.1. The Basic literature (semester 5):

L.D. Landau, E.M. Lifshitz. Field Theory. Nauka, Moscow, 1982.

J. Jackson. Classical Electrodynamics. Wiley, New York, 1965.

V.V. Batygin, I.N. Toptygin. Collection of problems in electrodynamics. Nauka, Moscow, 1970.

1.2. The Additional literature (to a semester 5):

D.J. Griffiths. Introduction to Electrodynamics. Prentice Hall, New Jersey

J.R. Reitz. Foundation of Electromagnetic Theory. Addison-Wesley Publishing Company, London, England.

1.3. Periodicals Magazines:

1.4. Internet-resources:

1.5. The Software of modern information-communication technologies

**Discipline Material support**

Lectures are held in specially equipped classrooms with multimedia equipment. Supporting material in the form of presentations and training materials available to students online faculty.