



Программу составил(и):

К.ф.-м.н., Доцент, С.Л. Лебедев



Рабочая программа дисциплины

**Электродинамика**

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 (уровень бакалавриата) (приказ Минобрнауки России от 07.08.2014г. №937)

составлена на основании учебного плана:

03.03.02 ФИЗИКА

Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике

утвержденного учёным советом вуза от 20 июня 2019 г., протокол УС №6

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Экспериментальной физики**

Протокол от 17 05 2019 г. № 03/70

Срок действия программы: - уч.г.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., с.н.с. Ельников А.В.



Председатель УМС к.т.н., доцент Тараканов Д.В.

07 06 2019 г. № 06/19



1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Формирование целостного представления об идеях, методах и области применимости классической электродинамики и специальной теории относительности как науки, составляющей основу классической физики высоких энергий и релятивистских скоростей; демонстрация взаимосвязи между общими законами электродинамики и их приложениями в физике конденсированного состояния и в электротехнике.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.Б.08
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Теоретическая механика
2.1.2	Модуль "Общая физика"
2.1.3	Модуль "Математика"
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Методы ядерной геофизики
2.2.2	Радиационная безопасность
2.2.3	Модуль "Теоретическая физика"
2.2.4	Физика атомного ядра и элементарных частиц

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
<b>ОК-6:</b> способностью работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	
<b>ОК-7:</b> способностью к самоорганизации и самообразованию	
<b>ОПК-3:</b> способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	- теоремы единственности для уравнений электростатики и магнитостатики, типовые граничные условия на границах раздела сплошных сред;
3.1.2	-примеры электродинамических систем различных типов и их физические характеристики (мультипольные моменты, плотность тока, магнитный момент, вектор Умова – Пойнтинга, коэффициенты электростатической индукции и пр.);
3.1.3	- основные особенности электродинамики как фундаментальной теории поля и вещества (единая природа электрических и магнитных явлений, релятивистская и калибровочная инвариантность уравнений электродинамики, законы сохранения, вопросы излучения, распространения и поглощения электромагнитных волн, электромагнитная природа оптических явлений и др.);
3.1.4	- основные положения СТО, преобразования Лоренца, законы релятивистской механики, понятия релятивистской инвариантности и ковариантности;
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	- в случаях простых распределений зарядов и токов использовать теорему Гаусса, принцип суперпозиции, мультипольные разложения для нахождения приближённых решений уравнений Максвелла в статическом пределе;
3.2.2	- применять общие теоремы (Гельмгольца, Томсона, Ирншоу, Био – Савара – Лапласа и т.д.) для качественного анализа электродинамических систем;
3.2.3	- использовать разные системы координат для вычисления характеристик простейших электродинамических систем;
3.2.4	- использовать преобразование Фурье для нахождения нестационарных решений уравнений Максвелла;

3.2.5	- определять характер граничных условий в конкретных задачах электродинамики сплошных сред;
3.2.6	- умеет анализировать физические условия, приводящие к необходимости учитывать эффекты излучения, релятивистские эффекты и т.д.;
<b>3.3 Владеть:</b>	
3.3.1	- ключевыми понятиями векторного анализа, электродинамики и релятивистской механики;
3.3.2	- методами решения линейных дифференциальных уравнений в частных производных (метод функций Грина, метод разделения переменных, мультипольное разложение и т.п.);
3.3.3	- методом преобразования Фурье и основами асимптотических методов в применении к простейшим задачам электродинамики;
3.3.4	- основами тензорного анализа, понятием группы симметрии уравнений и пр.
3.3.5	- навыками работы в творческом коллективе в условиях конфессиональных и культурных различий

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	<b>Раздел 1. Векторный анализ и уравнения Максвелла</b>						
1.1	Векторный анализ и уравнения Максвелла /Лек/	5	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Э2 Э3 Э4	0	Опрос
1.2	Векторный анализ и уравнения Максвелла /Пр/	5	2	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.4 Э3 Э4	0	Опрос
1.3	Векторный анализ и уравнения Максвелла /Ср/	5	11	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.4 Э3	0	
	<b>Раздел 2. Электростатическое поле</b>						
2.1	Электростатическое поле /Лек/	5	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.2 Э2 Э4	0	Опрос
2.2	Электростатическое поле /Пр/	5	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1Л2.2 Л2.4Л3.1 Э2	0	Опрос
2.3	Электростатическое поле /Ср/	5	11	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.3 Л1.4Л2.6 Э2 Э3	0	Контрольная работа
	<b>Раздел 3. Электростатика проводников</b>						
3.1	Электростатика проводников /Лек/	5	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Э2 Э4	0	
3.2	Электростатика проводников /Пр/	5	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.4 Э3	0	Опрос
3.3	Электростатика проводников /Ср/	5	11	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л2.6 Э3 Э4	0	Подготовка к практическим занятиям
	<b>Раздел 4. Магнитостатика</b>						
4.1	Магнитостатика /Лек/	5	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Э2 Э3	0	

4.2	Магнитостатика /Пр/	5	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.3Л2.4 Э2 Э3	0	Контрольная работа
4.3	Магнитостатика /Ср/	5	11	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Э3 Э4	0	Подготовка к практическим занятиям
<b>Раздел 5. Элементы электродинамики сплошных сред</b>							
5.1	Элементы электродинамики сплошных сред /Лек/	6	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.4 Э3 Э4	0	Опрос
5.2	Элементы электродинамики сплошных сред /Пр/	6	5	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.3 Л2.4Л3.1 Э2 Э3 Э4	0	Опрос
5.3	Элементы электродинамики сплошных сред /Ср/	6	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л2.3 Л2.5 Э3 Э4	0	Подготовка к практическим занятиям
<b>Раздел 6. Электромагнитные волны</b>							
6.1	Электромагнитные волны /Лек/	6	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.6 Э2 Э4	0	Опрос
6.2	Электромагнитные волны /Пр/	6	12	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.4 Э2 Э3	0	Опрос
6.3	Электромагнитные волны /Ср/	6	10	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.4Л2.5 Л2.6 Э3 Э4	0	Подготовка к практическим занятиям
<b>Раздел 7. Излучение электромагнитных волн</b>							
7.1	Излучение электромагнитных волн /Лек/	6	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2Л2.3	0	Опрос
7.2	Излучение электромагнитных волн /Пр/	6	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.2 Л1.3Л2.3 Л2.4	0	Опрос
7.3	Излучение электромагнитных волн /Ср/	6	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3		0	Подготовка к практическим занятиям
<b>Раздел 8. Релятивистская механика и основные положения СТО</b>							
8.1	Релятивистская механика и основные положения СТО /Лек/	6	6	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3 Э2	0	Опрос
8.2	Релятивистская механика и основные положения СТО /Пр/	6	5	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.1 Л2.3 Л2.4 Э2	0	Контрольная работа
8.3	Релятивистская механика и основные положения СТО /Ср/	6	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л2.1 Л2.3 Э2	0	Анализ ошибок контрольной работы
<b>Раздел 9. Поглощение и рассеяние ЭМВ</b>							
9.1	Поглощение и рассеяние ЭМВ /Лек/	6	4	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Э2 Э3 Э4	0	Опрос
9.2	Поглощение и рассеяние ЭМВ /Пр/	6	4	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.3Л2.4 Э4	0	Опрос
9.3	Поглощение и рассеяние ЭМВ /Ср/	6	8	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Э4	0	Подготовка к практическим занятиям
<b>Раздел 10. Электродинамика</b>							
10.1	/Экзамен/	6	36	ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Л1.1 Л1.3Л2.4	0	

<b>5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ</b>	
<b>5.1. Контрольные вопросы и задания</b>	
Приложение № 1	
<b>5.2. Темы письменных работ</b>	
Приложение № 1	
<b>5.3. Фонд оценочных средств</b>	
Приложение № 1	
<b>5.4. Перечень видов оценочных средств</b>	
Опрос; контрольная работа. Экзамен	

<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>				
<b>6.1. Рекомендуемая литература</b>				
<b>6.1.1. Основная литература</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л1.1	Иванов А. Е., Иванов С. А.	Электродинамика: учебник	Москва: КноРус, 2012	5
Л1.2	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.	Теория поля	Москва: Физматлит, 2006, <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=2236">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=2236</a>	1
Л1.3	Тамм И.Е.	Основы теории электричества: учеб.	Москва: Физматлит, 2003, <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=2333">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=2333</a>	1
Л1.4	Демидова Н. Е., Демидов Г. А.	Электродинамика. Электростатика: Учебное пособие	Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017, <a href="http://www.iprbookshop.ru/80848.html">http://www.iprbookshop.ru/80848.html</a>	1
<b>6.1.2. Дополнительная литература</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л2.1	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Теория поля: Учеб. пособие	М.: Наука, 1988	4
Л2.2	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Теория поля: Учеб. пособие для ун-тов	М.: Физматлит, 2001	10
Л2.3	Медведев Б. В.	Начала теоретической физики. Механика, теория поля. Элементы квантовой механики: Учебное пособие	Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2007, <a href="http://www.iprbookshop.ru/12952">http://www.iprbookshop.ru/12952</a>	1
Л2.4	Каликинский И. И.	Электродинамика: Учебное пособие	Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014, <a href="http://znanium.com/go.php?id=406832">http://znanium.com/go.php?id=406832</a>	1

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л2.5	Памятных Е. А.	Электродинамика. Специальная теория относительности. Теория электромагнитного поля: Учебно-методическое пособие	Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014, <a href="http://www.iprbookshop.ru/68416.html">http://www.iprbookshop.ru/68416.html</a>	1
Л2.6	Пейсахович Ю. Г.	Классическая электродинамика: Учебное пособие	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017, <a href="http://www.iprbookshop.ru/91264.html">http://www.iprbookshop.ru/91264.html</a>	1

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л3.1	Манина Е. А., Шадрин Г. А.	Обработка результатов измерений физического практикума: учебно-методическое пособие для студентов всех специальностей	Сургут: Издательство СурГУ, 2007	98

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Государственная публичная научно-техническая библиотека России (ГПНТБ России)			
Э2	В. И. Яковлев, Классическая Электродинамика. Новосибирск: Из-во НГУ, 2014			
Э3	Шапошникова Т. С., Царевский, Тестовые задания по электродинамике. Казань: Каз. ГУ, 2009			
Э4	В. И. Денисов, Лекции по электродинамике. Москва: УНЦ ДО, 2005			

### 6.3.1 Перечень программного обеспечения

6.3.1.1	Microsoft Office			
---------	------------------	--	--	--

### 6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1	<a href="http://www.garant.ru">http://www.garant.ru</a> Информационно-правовой портал Гарант.ру			
6.3.2.2	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a> Справочно-правовая система Консультант Плюс			

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1	Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа (практических занятий), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащены: типовой учебной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.			
-----	---	--	--	--

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

--	--	--	--	--

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА**  
**Приложение к рабочей программе по дисциплине**

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

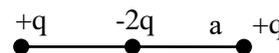
Квалификация выпускника	бакалавр
Направление подготовки	03.03.02 Физика
Направленность (профиль)	Цифровые технологии в геофизике
Форма обучения	очная
Кафедра- разработчик	Кафедра экспериментальной физики
Выпускающая кафедра	Кафедра экспериментальной физики

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

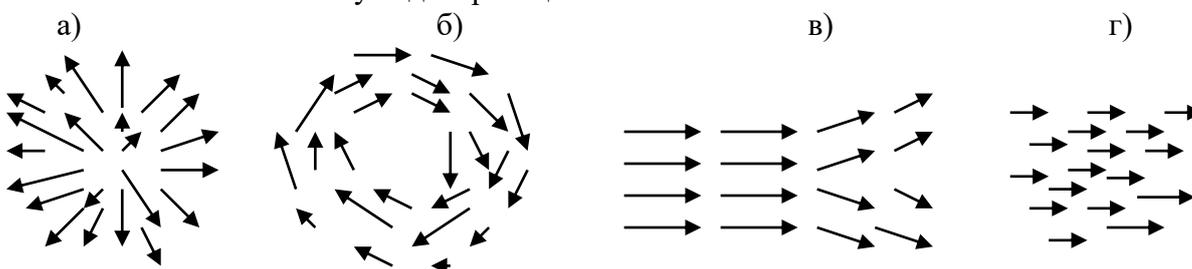
**Этап: проведение текущего контроля успеваемости по дисциплине (5 семестр)**

**РАЗДЕЛЫ I - IV**

1. Вычислить поток вектора  $\vec{A}(\vec{r}) = \vec{a} \times (\vec{r} \times \vec{b})$  ( $\vec{a}$  и  $\vec{b}$  - постоянные векторы) через единичную сферу с центром в начале координат. Как зависит ответ от расположения сферы?
2. Чем отличается электростатическое поле заряженного однородно диэлектрического шара от поля такого же по размерам металлического шара, если их заряды одинаковы? Ответ пояснить графиками зависимостей потенциалов от координат.
3. Имеется тонкое равномерно заряженное кольцо,  $Q$  и  $R$  - его заряд и радиус. Определить потенциал, создаваемый зарядом кольца, на оси симметрии кольца (т.е. на прямой, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр). Какую кинетическую энергию приобретёт точечный одноименный заряд  $q$ , помещённый в центр кольца, если ему предоставить возможность двигаться под действием электростатической силы?
4. Определить квадрупольный момент системы зарядов, представленной на рисунке. Использовать определение квадрупольного момента и выражение для плотности точечного заряда через  $\delta$  - функцию.

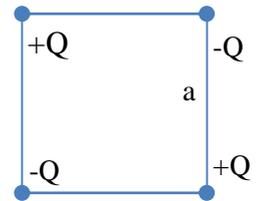


5. Доказать, что  $(\vec{A}(\vec{r}) \cdot \vec{\nabla}) \vec{A}(\vec{r}) = -\vec{A}(\vec{r}) \times \text{rot}(\vec{A}(\vec{r}))$ , если вектор  $\vec{A}(\vec{r})$  имеет единичную длину (т.е. во всех точках выполнено равенство:  $\vec{A}(\vec{r}) \cdot \vec{A}(\vec{r}) = 1$ ).
6. Определить потенциальную энергию взаимодействия двух диполей  $\vec{d}_1$  и  $\vec{d}_2$ , находящихся друг от друга на расстоянии  $R$ , значительно превосходящем их размеры. Указание: использовать мультипольное разложение, рассматривая один из диполей, как находящийся во внешнем поле второго диполя.
7. Какая из нижеприведенных картинок векторного поля определено соответствует полю с отличной от нуля дивергенцией? Ответ поясните.



8. Является ли поле  $\vec{F} = \frac{1}{2}(\vec{\omega} \times \vec{r}) \times \vec{\omega}$  ( $\vec{\omega} = \text{const}$ ) вихревым?
9. Найти дивергенции и роторы векторов  $\vec{a} \times \vec{r}$  и  $\vec{b}(\vec{a} \cdot \vec{r})$  ( $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  - постоянные векторы).

10. Найти работу, которую необходимо совершить для перемещения точечного заряда  $q$  из бесконечности в центр однородно заряженного диэлектрического шара (зарядом  $Q$  и радиусом  $R$ ).
11. Определить квадрупольный момент системы зарядов (см. рисунок). Использовать определение квадрупольного момента и выражение для плотности точечного заряда через  $\delta$  – функцию.



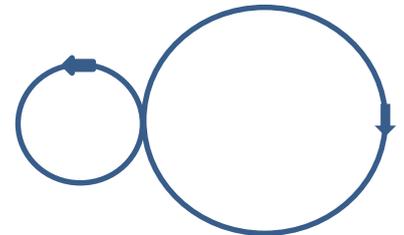
12. Упростить выражение  $\text{rot}(\vec{r}\phi(\vec{r}))$ , в котором  $\phi(\vec{r})$  – произвольная скалярная функция.
13. Внутри объёма  $V$  вектор  $\vec{A}$  удовлетворяет условию:  $\text{div}\vec{A}=0$ , причём, на границе этого объёма  $A_n|_{\partial V}=0$ . Доказать, что

$$\int_V \vec{A}(\vec{r}) dV = 0.$$

Подсказка: воспользуйтесь тождеством  $\nabla \cdot ((\vec{b} \cdot \vec{r})\vec{A}) = (\vec{b} \cdot \vec{r}) \nabla \cdot \vec{A} + \vec{A} \cdot \vec{b}$ , где  $\vec{b}$  – произвольный постоянный вектор.

14. Имеется тонкая равномерно заряженная сфера с поверхностной плотностью заряда  $\sigma$  и радиусом  $R$ , из которой вырезано маленькое отверстие радиусом  $a \ll R$ . Определить потенциал поля, создаваемого сферой во внешнем пространстве. Какая сила будет действовать на точечный заряд  $q$ , помещённый в центр сферы?
15. Три одинаковых заряда  $q$  скреплены лёгкими нерастяжимыми нитями длины  $\ell$ . Массы зарядов одинаковы. Одну из нитей пережигают. Определить: 1) силу натяжения каждой из нитей до пережигания; 2) скорость среднего заряда в тот момент, когда заряды образуют прямую линию.
16. Покажите, что если скалярная функция  $\psi(\vec{r})$  удовлетворяет уравнению Гельмгольца  $\Delta\psi + k^2\psi = 0$ , то векторная функция  $\vec{M} = \text{rot}(\vec{a}\psi(\vec{r}))$  также удовлетворяет уравнению Гельмгольца ( $k^2, \vec{a}$  – постоянные,  $\Delta$  – оператор Лапласа).

17. Вычислить циркуляцию вектора  $\vec{A} = \frac{1}{2} \vec{\omega} \times \vec{r}$  ( $\vec{\omega}$  – постоянный вектор) вдоль контура, представляющего собой «восьмёрку» из двух окружностей радиусами  $a$  и  $b$ ,  $a < b$ . Подсказка: используйте теорему Стокса.



18. Имеется плоская достаточно широкая однородно заряженная ( $\rho$  – плотность заряда) пластина толщиной  $d$ . Определить зависимость напряжённости поля от координат и построить график этой зависимости.
19. Покажите, что дипольный момент любого сферически симметричного распределения заряда равен нулю (Подсказка: если начало координат поместить в центр симметрии системы таких зарядов, то плотность заряда будет функцией только от расстояния точки наблюдения до начала координат).
20. Определить, является ли векторное поле  $\vec{A}(x, y, z) = xy\vec{i} + 2y\vec{j} - z\vec{k}$  вихревым?
21. Пусть дано векторное поле  $\vec{A} = \vec{a} \times \vec{r}$ , где  $\vec{a}$  – постоянный вектор. Найти производную вектора  $\vec{A}$  по направлению единичного вектора  $\vec{b} \perp \vec{a}$ .
22. Общее решение уравнения Пуассона для финитного распределения заряда допускает представление в виде ряда по степеням обратного расстояния от системы зарядов до точки наблюдения (т.н. «мультипольное разложение»). Найти соответствующее ему разложение для напряжённости электрического поля.

23. Используя теорему Гаусса, выведите формулу для ёмкости плоского конденсатора, считая поле между обкладками однородным ( $S$ ,  $Q$ , и  $d$  – площадь обкладок, заряд конденсатора и расстояние между обкладками).
24. Является ли векторное поле  $\vec{A}(\vec{r}) = xz^2\vec{i} + yx^2\vec{j} + zy^2\vec{k}$  потенциальным? Ответ обосновать.
25. Потенциал, создаваемый в пространстве некоторым распределением зарядов, имеет вид:  $\varphi(\vec{r}) = a(x^2 + y^2) - z$ . Найти угол, который образует напряжённость  $\vec{E}$  электрического поля с осью  $Ox$  в точке  $\vec{r} = (-1, 2, 0)$ .
26. Определить момент сил, действующий на диполь  $\vec{d} = q\vec{l}$ , со стороны точечного заряда  $Q$ , находящегося на расстоянии  $R \gg l$  от диполя. Проанализировать его зависимость от ориентации диполя по отношению к вектору  $\vec{R}$ .
27. Шесть одинаковых зарядов  $Q$  расположены в пространстве, образуя вершины правильного шестиугольника со стороной  $a$ . На сколько изменится энергия системы зарядов, если в двух соседних вершинах поменять заряды на противоположные?
28. Какое из нижеприведённых тождеств основано на теореме о свёртке для тензора Леви –Чивиты ( $\varepsilon_{ikl}\varepsilon_{lmn} = \delta_{im}\delta_{kn} - \delta_{in}\delta_{km}$ )? Ответ пояснить.
- А)  $\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) - \vec{B} \cdot (\vec{C} \times \vec{A})$  ;
- Б)  $\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) + \vec{B} \times (\vec{C} \times \vec{A}) + \vec{C} \times (\vec{A} \times \vec{B}) = 0$  ;
- В)  $\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = (\vec{A} \cdot \vec{C})\vec{B} - (\vec{A} \cdot \vec{B})\vec{C}$  ;
- Г)  $\vec{B} \cdot (\vec{A} \times \vec{C}) + \vec{C} \cdot (\vec{A} \times \vec{B}) = 0$ .
29. Является ли поле  $\vec{F} = x(y^2 + z^2)\vec{i} + y(z^2 + x^2)\vec{j} + z(y^2 + x^2)\vec{k}$  потенциальным?
30. Определить силу взаимодействия между диполем  $\vec{d} = q\vec{l}$  и точечным зарядом  $Q$ , находящимся на расстоянии  $R \gg l$  от диполя. Проанализировать ее зависимость от ориентации диполя. Воспользуйтесь мультипольным разложением.
31. Две тонкие однородно заряженные нити с линейными плотностями зарядов  $\gamma$  и  $-\gamma$  расположены на расстоянии  $L$  в пространстве параллельно друг другу. Какую работу необходимо совершить, чтобы переместить из бесконечности точечный заряд  $Q$  в точку, находящуюся: а) посередине между нитями? б) на расстоянии  $L/2$  и  $3L/2$  от первой и второй нитей соответственно?
32. Покажите, что любое решение уравнения  $\nabla \times (\nabla \times \vec{A}) - k^2 \vec{A} = 0$  автоматически удовлетворяет уравнению Гельмгольца  $\nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} = 0$  и условию соленоидальности  $\nabla \cdot \vec{A} = 0$ .
33. Какое слагаемое потеряно в правой части каждого из следующих тождеств:
- $$0 = \vec{G} \times (\nabla \times \vec{F}) + \vec{F} \times (\nabla \times \vec{G}) + (\vec{G} \cdot \nabla) \vec{F} + (\vec{F} \cdot \nabla) \vec{G} + \dots ,$$
- $$0 = \nabla \times (\varphi \vec{A}) - \nabla \varphi \times \vec{A} + \dots ?$$
34. Три одинаковых заряда  $q$  скреплены двумя лёгкими нерастяжимыми нитями длины  $\ell$ . Третью сторону треугольника образует упругая резинка жёсткостью  $\kappa$ , которая в нерастянутом состоянии имеет такую же длину. Определить, насколько растянется резиновый жгут. Рассмотрите случаи, когда удлинение  $\Delta \ell \ll \ell$  и когда  $\Delta \ell \sim \ell$ .
35. Имеются две непересекающиеся финитные области пространства,  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ , в каждой из которых распределён заряд с плотностями  $\rho_1$  и  $\rho_2$ . Обозначим

потенциалы полей, создаваемых этими распределениями по отдельности,  $\phi_1$  и  $\phi_2$  соответственно. Показать, что

$$\int_{\Omega_1} \rho_1 \phi_2 dV = \int_{\Omega_2} \rho_2 \phi_1 dV .$$

Какова физическая интерпретация этого результата?

36. Вычислите матрицу коэффициентов электростатической индукции системы, состоящей из двух шаров радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , находящихся на расстоянии  $L \gg \max(R_1, R_2)$  друг от друга. Рассмотрите задачу с учётом поляризационных эффектов.
37. Найти векторный потенциал  $\vec{A}$  и индукцию  $\vec{B}$  магнитного поля, создаваемого прямолинейным током силой  $I$ .
38. Найти векторный потенциал  $\vec{A}$  и индукцию  $\vec{B}$  магнитного поля, создаваемого бесконечной прямой катушкой с током силой  $I$  и числом витков на единицу длины  $n$ .
39. Вычислить энергию взаимодействия двух плоских витков с током ( $\vec{n}_1$  и  $\vec{n}_2$  - нормали к плоскостям витков,  $I_1$  и  $I_2$  - силы токов в них), находящихся на расстоянии  $L \gg \max(\sqrt{S_1}, \sqrt{S_2})$ , где  $S_1$  и  $S_2$  - площади витков.

**Этап: проведение текущего контроля успеваемости по дисциплине (6 семестр)**

## РАЗДЕЛЫ V - IX

**Варианты заданий для контрольной работы:**

1. Какое из четырех уравнений Максвелла утверждает отсутствие магнитных зарядов в природе?

а) $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 4\pi\rho$ ;	б) $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{j}$ ;
в) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ ;	г) $\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0$ .

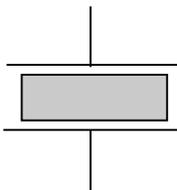
2. Покажите, что плоские волны вида  $u(x, t) = u_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega t)$  являются решениями уравнения Даламбера  $u_{tt} - \frac{1}{v^2} \Delta u = 0$  ( $\Delta \equiv \partial_x^2 + \partial_y^2 + \partial_z^2$ ,  $\omega = c |\vec{k}|$ ).
3. Какой симметрией обладает поле однородно заряженной полусферы (ответ пояснить):
  - а) сферической;
  - б) аксиальной;
  - в) трансляционной;
  - г) никакой?
4. Преобразование Лоренца для полей  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  в линейном по  $V/c$  приближении при условии, что  $V/c \ll 1$ , имеет вид:

$$\vec{E}' = \vec{E} + \frac{\vec{V}}{c} \times \vec{B}, \quad \vec{B}' = \vec{B} - \frac{\vec{V}}{c} \times \vec{E},$$

где  $\vec{V}$  - скорость движения «штрихованной» ИСО

относительно «не штрихованной» (лабораторной), а  $\vec{E}'$  и  $\vec{B}'$  - соответствующие поля в штрихованной ИСО. Показать, что в этом же приближении обратное преобразование (от штрихованной к лабораторной) может быть получено заменой  $\vec{V}$  на  $(-\vec{V})$ .

5. Определить поверхностную плотность заряда на обкладках плоского конденсатора, если напряженность поля в пространстве между обкладками равна  $E$ , а диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей конденсатор, равна  $\epsilon$ . Найдите вектор поляризации диэлектрика.
6. Определить поверхностную плотность заряда на границе раздела двух слоёв диэлектрика, заполняющих плоский конденсатор, если напряженность поля в пространстве между обкладками равна  $E$ , а диэлектрические проницаемости диэлектриков равны  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ .
7. Дать определение кинетического импульса частицы в релятивистской механике. При каких условиях это выражение переходит в ньютоновское?
8. Написать дисперсионное уравнение (выражающее зависимость частоты от волнового вектора) для электромагнитного поля, распространяющегося в однородном изотропном диэлектрике согласно уравнению Д'Аламбера:  $\Delta \vec{E} - \frac{\epsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$ ,  $\Delta \vec{H} - \frac{\epsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0$ .
9. Объяснить на основе формул Френеля, почему при отражении ЭМВ от оптически более плотной среды фаза волны приобретает дополнительное слагаемое  $\pm\pi$  (рассмотрите нормальное падение на границу).
10. Записать граничные условия для напряженности  $\vec{E}$  и индукции  $\vec{D}$  на границе раздела двух диэлектриков с проницаемостями  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ .
11. Используя выражение для функции Лагранжа свободной релятивистской частицы, найти ее импульс и энергию.
12. Получить формулу продольного эффекта Доплера, зная, что частота и волновой вектор фотона образуют 4-вектор  $(\kappa^\mu = (\frac{\omega}{c}, \vec{\kappa}))$ . Указание: воспользоваться формулами преобразования Лоренца.
13. Из уравнений Максвелла в пространстве, свободном от зарядов, получить векторное уравнение (Д'Аламбера) для электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля.
14. Какая физическая величина обуславливает существование светового давления:
  - а) плотность энергии ЭМВ  $u = \frac{E^2 + H^2}{8\pi}$ ;
  - б) плотность импульса  $\vec{P} = \frac{1}{c^2} \vec{S}$ ;
  - в) вектор плотности тока  $\vec{j}$  в веществе мишени;
  - г) плотность джоулевых потерь в веществе мишени  $(\vec{E} \cdot \vec{j} = \sigma \vec{E}^2)$ ?
15. Пространство между обкладками плоского заряженного конденсатора заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Уменьшится или увеличится энергия поля, если убрать диэлектрик? Ответ пояснить. Что можно сказать о силе, действующей на диэлектрик в процессе его изъятия?
16. Почему в релятивистской физике не существует понятия абсолютно твердого тела?
17. Объяснить, как по характеру искривления траектории частицы в магнитном поле можно определить знак заряда этой частицы.
18. Чему равен поток индукции магнитного поля  $\vec{B}$  через площадку, ограниченную траекторией электрона, совершающего движение в этом поле?
19. Применяя формулу Лармора, определить полную интенсивность электромагнитного излучения, производимого заряженной частицей, равномерно движущейся в плоскости  $(x, y)$  по круговой траектории:  $\vec{r}(t) = (R \cos \omega t, R \sin \omega t)$ .  $R, \omega, e$  - радиус окружности, угловая скорость и заряд частицы.



20. Используя преобразование Лоренца, показать, что интервал между любой парой событий  $(x^\mu)$  и  $(\tilde{x}^\mu)$  в пространстве Минковского является релятивистским инвариантом.
21. Получить формулу поперечного эффекта Доплера, зная, что частота и волновой вектор фотона образуют 4-вектор  $k^\mu = (\frac{\omega}{c}, \vec{k})$ . Указание: воспользоваться формулами преобразований Лоренца.
22. Релятивистская частица в собственной системе отсчёта испускает два одинаковых фотона в противоположных направлениях. Рассмотрите этот процесс в лабораторной системе и покажите, что сохранение импульса будет фиксироваться и лабораторным наблюдателем. Для простоты считайте, что фотоны испускались в направлениях, параллельных скорости частицы.
23. Почему при поступательном движении контура в однородном магнитном поле индукционный ток в нем не возникает?
24. Найти векторный потенциал магнитного поля небольшого магнита с моментом  $\mathbf{m}$ , расположенного на расстоянии  $b$  от сверхпроводящей стенки. Использовать уравнение Лондонов и граничное условие  $B_n|_{\partial V} = 0$  для магнитной индукции.
25. Используя уравнения Максвелла, докажете поперечность электромагнитных волн, распространяющихся в пространстве, свободном от зарядов.

### Вопросы для устного опроса

1. Закон сохранения электрического заряда.
2. Закон Кулона.
3. Напряженность электростатического поля.
4. Принцип суперпозиции электрических полей.
5. Потенциал электростатического поля.
6. Потенциал электростатического поля точечного заряда.
7. Связь между напряжением и напряженностью.
8. Диэлектрическая проницаемость вещества.
9. Электрическая ёмкость уединенного проводника.
10. Электрическая ёмкость конденсатора.
11. Электроемкость плоского конденсатора.
12. Параллельное соединение конденсаторов.
13. Последовательное соединение конденсаторов.
14. Энергия электростатического поля конденсаторов.
15. Сила тока.
16. Закон Ома.
17. Сопротивление проводника.
18. Зависимость электрического сопротивления проводников от температуры.
19. Электродвижущая сила источника тока.
20. Последовательное сопротивление проводников.
21. Параллельное сопротивление проводников.
22. Работа тока.
23. Мощность тока.
24. Закон Джоуля-Ленца.
25. Как возникают магнитные взаимодействия
26. Что такое магнитное поле, чем оно создается.
27. Свойства магнитного поля.

28. Действия магнитного поля на рамку с током.
29. Количественная характеристика магнитного поля.
30. Что принято за направление вектора магнитной индукции.
31. Правило буравчика.
32. Что определяет правило буравчика.
33. Как изображают магнитные поля
34. Что такое линии магнитной индукции.
35. Магнитное поле прямого и кругового тока.
36. Магнитное поле – вихревое. Что это значит?
37. От чего зависит модуль вектора магнитной индукции.
38. Сила Ампера.
39. Направление силы Ампера.
40. Сила Лоренца.
41. Направление силы Лоренца.
42. Как движется заряженная частица в магнитном поле.
43. Применение силы Ампера и Лоренца.
44. Магнитная проницаемость среды.
45. Электрические колебания. Колебательный контур. Формула Томсона.
46. Переменный электрический ток. Рамка, вращающаяся в магнитном поле. Генератор переменного тока.
47. Трансформаторы.
48. Электрические машины постоянного тока.
49. Конденсатор в цепи переменного тока.
50. Катушка индуктивности в цепи переменного тока.
51. Закон Ома для цепи переменного тока.
52. Электромагнитная волна.
53. Чему равна скорость электромагнитных волн в вакууме?
54. Условие излучения электромагнитных волн.
55. Длина волны (формула, единицы, определение)
56. Формула связи периода и частоты колебаний
57. Поток энергии электромагнитной волны (формула, определение, единицы)
58. Плотность потока энергии электромагнитного излучения (формула, единицы, определение)
59. Интенсивность электромагнитной волны (определение, единицы, формула)
60. Точечный источник излучения (определение, примеры)
61. Что такое радиосвязь?
62. Виды радиосвязи.
63. Что такое радиолокация? Ее применение?
64. Квантовая гипотеза Планка.
65. Фотоны и их свойства.
66. Внешний фотоэлектрический эффект.
67. Уравнение Эйнштейна.
68. Законы фотоэффекта.
69. Внутренний фотоэффект.
70. Типы фотоэлементов.
71. Строение атома по Резерфорду.
72. Ядерная модель атома.
73. Изотопы.
74. Квантовые постулаты Бора. Модель атома по Бору.
75. Квантовые генераторы.

## Вопросы для подготовки к экзамену

1. Напряженность поля, создаваемого точечным зарядом. Принцип суперпозиции электрических полей.
2. Работа силы однородного электростатического поля по перемещению электрического заряда.
3. Диэлектрическая проницаемость вещества.
4. Работа сил электрического поля при переносе заряда.
5. Сила тока. Закон Ома.
6. Зависимость электрического сопротивления от материала, длины и площади поперечного сечения проводника.
7. Электродвижущая сила источника тока. Работа тока. Мощность тока.
8. Закон Джоуля-Ленца.
9. Магнитное поле прямого и кругового тока.
10. Сила Ампера. Сила Лоренца. Применение силы Ампера и Лоренца.
11. Электрические колебания. Колебательный контур. Формула Томсона.
12. Переменный электрический ток. Рамка, вращающаяся в магнитном поле. Генератор переменного тока.
13. Трансформаторы. Электрические машины постоянного тока.
14. Резистор в цепи переменного тока. Действующее значение ЭДС, напряжения и силы тока.
15. Вынужденные колебания в цепи переменного тока. Резонанс напряжений и токов.
16. Условие излучения электромагнитных волн.
17. Формула связи интенсивности электромагнитной волны и плотности энергии.
18. Формула связи интенсивности волны с расстоянием от источника.
19. Квантовая гипотеза Планка.
20. Фотоны и их свойства. Внешний фотоэлектрический эффект.
21. Уравнение Эйнштейна.
22. Законы фотоэффекта. Внутренний фотоэффект.
23. Строение атома по Резерфорду. Ядерная модель атома.

## Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

### Этап: проведение текущего контроля успеваемости по дисциплине

Текущий контроль предназначен для проверки качества формирования компетенций, уровня овладения теоретическими и практическими знаниями, умениями и навыками. Оценивание знаний теоретического материала по каждому разделу проводится на практических занятиях. Умение решать задачи проверяется контрольной работой.

### Критерии оценивания контрольных работ

Проверяемые компетенции	Критерии оценивания	Оценка
ОК-6, ОК-7, ОПК-1, ОПК-3, ПК-2, ПК-5	Все задачи решаются полностью: приводится верное аналитическое решение, делается правильный расчет.	Отлично

	Приведены решения задач контрольной работы, но есть небольшие недочеты при использовании законов, формул, в целом не влияющих на ход решения, допущены ошибки при вычислении численных результатов. Общая доля невыполненных заданий не превышает 5–7 % от общего объема контрольной работы.	Хорошо
	Приведены решения не всех заданий контрольной работы, есть существенные недостатки при выводе аналитических выражений, не проведены численные расчеты. Общая доля невыполненных заданий составляет не более 50 % от общего объема контрольной работы.	Удовлетворительно
	Решения заданий приведены неверно или вовсе отсутствуют. Общая доля невыполненных заданий составляет более 50 % от общего объема контрольной работы.	Неудовлетворительно

### **Этап: проведение промежуточной аттестации по дисциплине**

#### **Методические рекомендации по подготовке к зачету или экзамену.**

*Зачет или экзамен* являются итогом работы студента в течение семестра или учебного года.

Подготовка к зачету (экзамену) требует определенного алгоритма действий. Прежде всего, необходимо ознакомиться с вопросами, которые выносятся на зачет (экзамен). На основе этого следует составить план повторения и систематизации учебного материала. Нельзя ограничиваться только конспектами лекций, следует проработать рекомендованные учебные пособия и литературу. В отдельной тетради на каждый вопрос зачета (экзамена) следует составить краткий план ответа в логической последовательности и с фиксацией необходимого иллюстративного материала (примеры, рисунки, схемы, цифры).

Если отдельные вопросы программы остаются неясными, их необходимо написать на полях конспекта, чтобы выяснить на консультации. Важнейшую информацию следует обозначать другим цветом, это помогает лучше ее запомнить.

Следует постепенно переходить от повторения материала одной темы к другой. Когда повторен и систематизирован весь учебный материал, необходимо пересмотреть его еще раз уже со своими записями, проверяя мысленно, как усвоен материал.

#### **Условия допуска студента к зачету (экзамену)**

Для того, чтобы быть допущенным к сдаче зачета (экзамена), студенту необходимо выполнить следующие требования:

- 1) регулярно посещать аудиторские занятия по дисциплине (пропуск занятий не допускается без уважительной причины); в случае пропуска занятия студент должен быть готов ответить на вопросы преподавателя, относящиеся к пропущенной теме;
- 2) выполнить контрольные работы на оценку «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно», провести анализ ошибок контрольной работы.

## Этап: Проведение промежуточной аттестации (6 семестр)

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются по четырёхбалльной шкале с оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Оценка	Критерий оценивания
Знает	<p>- основные особенности электродинамики как фундаментальной теории поля и вещества (единая природа электрических и магнитных явлений, релятивистская и калибровочная инвариантность уравнений электродинамики, законы сохранения, вопросы излучения, распространения и поглощения электромагнитных волн, электромагнитная природа оптических явлений и др.);</p> <p>- основные положения СТО, преобразования Лоренца, законы релятивистской механики, понятия релятивистской инвариантности и ковариантности;</p>	отлично	<p>- теоретическое содержание усвоено не менее, чем на 90%;</p> <p>- на 100% проведён анализ ошибок контрольной работы;</p> <p>- отвечает на вопрос при видоизменении заданий;</p>
		хорошо	<p>теоретическое содержание усвоено не менее, чем на 75%;</p> <p>анализ ошибок контрольной работы проведён &gt; чем на 60%;</p>
		удовлетворительно	<p>теоретическое содержание усвоено не менее, чем на 60%;</p> <p>анализ ошибок контрольной работы проведён не менее, чем на 50%;</p>
		неудовлетворительно	<p>теоретическое содержание усвоено в объёме менее, чем на 50%;</p> <p>анализ ошибок контрольной работы проведён менее, чем на 50%;</p>
Умеет	<p>- использовать преобразование Фурье для нахождения нестационарных решений уравнений Максвелла;</p> <p>- умеет определять характер граничных условий в конкретных задачах электродинамики сплошных сред;</p> <p>- умеет анализировать физические условия, приводящие к необходимости учитывать</p>	отлично	- наличие практических умений в объёме не ниже, чем 90%
		хорошо	- наличие перечисленных умений в объёме не ниже, чем 75%.
		удовлетворительно	- наличие перечисленных умений в объёме не ниже, чем 60%.

	эффекты излучения, релятивистские эффекты и т.д.;	неудовлетворительно	- наличие перечисленных умений в объеме ниже, чем 60%.
Владеет	- методом преобразования Фурье и основами асимптотических методов в применении к простейшим задачам электродинамики; - основами тензорного анализа, понятием группы симметрии уравнений и пр.	зачтено	- навыками решения элементарных дифференциальных уравнений; - техникой вычислений и методами тензорного анализа
		не зачтено	студент не владеет техникой вычислений и методами тензорного анализа;

### Этап: проведение промежуточной аттестации по дисциплине

#### Критерии оценивания теоретической части экзамена (ответ на вопрос):

Проверяемые компетенции	Критерии оценивания	Оценка
ОК-6 ОК-7 ОПК-3	Студент показывает, что он глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое нестандартное решение.	Отлично
	Студент показывает, что он глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое нестандартное решение, но есть небольшие недочеты, в целом не влияющие на ход ответа.	Хорошо
	Студент показывает, что он усвоил материал, последовательно его излагает, но затрудняется с ответом при видоизменении заданий.	Удовлетворительно
	Студент показывает, что он не усвоил материал, плохо его излагает, затрудняется с ответом при видоизменении заданий, не правильно обосновывает принятое решение.	Неудовлетворительно

**Примечание:** оценка «неудовлетворительно» ставится в случае получения студентом низшего значения критерия оценивания по любому из показателей оценивания. В остальных случаях она вычисляется как среднее по дескрипторам «знает» и «умеет».

В качестве текущего средства контроля успеваемости предусмотрена одна контрольная работа в середине каждого семестра и устный опрос; **промежуточным** средством контроля является **зачёт** (5 семестр) и **экзамен** (6 семестр). Курсовая работа учебным планом не предусмотрена. Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы рассчитано на использование студентами книг и учебников из списка как основной, так и дополнительной литературы.