

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Университет «Дубна»  
(государственный университет «Дубна»)

Филиал «Протвино»  
Кафедра «Техническая Физика»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
/Евсиков А.А./  
Фамилия И.О.  
06 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Электродинамика

*наименование дисциплины (модуля)*

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

*код и наименование направления подготовки (специальности)*

Уровень высшего образования

бакалавриат

*бакалавриат, магистратура, специалитет*

Направленность (профиль) программы (специализация)

«Медицинская физика»

Форма обучения

очная

*очная, очно-заочная, заочная*

Протвино, 2020

Преподаватель (преподаватели):

Масликов А.А., доцент, к.ф.-м.н., кафедра Технической Физики

\_\_\_\_\_  
Фамилия И.О., должность, ученая степень, ученое звание, кафедра; подпись



Рабочая программа разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) высшего образования

03.03.02 Физика

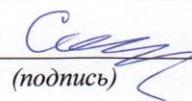
\_\_\_\_\_  
(код и наименование направления подготовки (специальности))

Программа рассмотрена на заседании кафедры технической физики

Протокол заседания № 3 от « 26 » июня 2020 г.

И.о. зав. кафедрой технической физики \_\_\_\_\_ Соколов А.А.

(подпись)



Эксперт \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, место работы, должность;  
подпись, заверенная по месту работы)

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Оглавление.....   | 3  |
| 1 Цели и задачи освоения дисциплины (модуля) .....  | 4  |
| 2 Объекты профессиональной деятельности при изучении дисциплины (модуля).....   | 4  |
| 3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП .....  | 4  |
| 4 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).....  | 4  |
| 5 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся ..... | 6  |
| 6 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий .....  | 6  |
| 7 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю) .....   | 11 |
| 8 Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения.....   | 13 |
| 9 Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).....   | 14 |
| 10 Ресурсное обеспечение .....  | 19 |
| 11 Язык преподавания .....  | 21 |

## **1 Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)**

Целью курса является систематическое изложение основных понятий и методов классической теоретической электродинамики вакуума; применение полученных знаний для решения конкретных задач с физическим содержанием; развитие навыков самостоятельной работы с литературой по данному предмету. Курс должен способствовать подготовке будущих специалистов в области медицинской физики на современном уровне.

Данный курс должен способствовать формированию у студента целостного представления о сложных электромагнитных процессах и явлениях, в основе которых лежит ковариантная формулировка основных законов электродинамики, действующих в однородной среде.

Задачами курса являются:

- 1) усвоить фундаментальную базу теоретических знаний по электродинамике в вакууме и в сплошных средах;
- 2) получить систему практических навыков использования этих знаний для постановки математической задачи описания любого явления или процесса, связанного с законами электромагнетизма, и последовательного решения этой задачи.

## **2 Объекты профессиональной деятельности при изучении дисциплины (модуля)**

Объектами профессиональной деятельности в рамках изучаемой дисциплины (модуля) являются:

- физические системы различного масштаба и уровней организации, процессы их функционирования;
- физические, инженерно-физические, биофизические, химико-физические, медико-физические, природоохранные технологии;
- физическая экспертиза и мониторинг.

## **3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП**

Дисциплина Б1.Б.12.3 «Электродинамика» относится к базовой части модуля Б1.Б.12.3 «Теоретическая физика».

Курс «Электродинамика» базируется на курсах «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Векторный и тензорный анализ», «Теория функций комплексного переменного», «Теоретическая механика», «Уравнения математической физики». Входящие компетенции: ОПК-2, ОПК-3, ПК-4.

Также в ходе изучения дисциплины «Электродинамика» предполагается освоение компетенции ОПК-3 овладение способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

После освоения дисциплины «Электродинамика» студент будет подготовлен к изучению дисциплин «Квантовая теория», «Атомная физика», «Ускорители заряженных частиц», «Детекторы излучений», работе над выпускной квалификационной работой и последующей научно-исследовательской и прикладной деятельности в качестве инженера-физика.

## **4 Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

*Раздел заполняется в соответствии с картами компетенций.*

| <b>Формируемые компетенции</b><br><i>(код компетенции, уровень (этап) освоения)</i><br><i>(последний – при наличии в карте компетенции)</i>                           | <b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций</b>  |
|---|--|
| <p><i>ОПК-3 -- способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</i></p> | <p><i>Знать:</i><br/> базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении конкретных физических задач.</p> <p><i>Уметь:</i><br/> решать типовые учебные задачи по основным разделам общей и теоретической физики; применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов общей и теоретической физики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач; применять знания базовых дисциплин по общей и теоретической физике для анализа и обработки результатов физических экспериментов.</p> <p><i>Владеть:</i><br/> навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам общей и теоретической физики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики; навыками решения базовых задач по общей и теоретической физике; основными методами научных исследований; навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента; навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении конкретных физических задач.</p> |

\*) результат обучения сформулирован на основании требований профессиональных стандартов:  
– «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» № 32 (приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 4 марта 2014 г. № 121н)

**5 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Объем дисциплины (модуля) составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых:

**68 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем<sup>1</sup>:**

34 часа – лекционные занятия;

34 часа – практические занятия.

\_\_\_\_\_ часов – мероприятия текущего контроля успеваемости<sup>2</sup>;

**27 часов – мероприятия промежуточной аттестации<sup>4</sup> (экзамен),**

**25 часов — курсовая работа,**

**24 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.**

**6 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий**

---

<sup>1</sup> Перечень видов учебных занятий уточняется в соответствии с учебным планом.

<sup>2</sup> В скобках необходимо сделать уточнение, если мероприятия текущего контроля успеваемости и (или) промежуточной аттестации (например, зачет, дифференцированный зачет) проводятся в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)  | Всего (часы) | В том числе:  |                     |                      |                      |   |                        |                             |   |   |                             |                                   |
|---|--------------|---|---------------------|----------------------|----------------------|---|------------------------|-----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------------------------------|
|   |              | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них <sup>3</sup> |                     |                      |                      |   |                        |                             |   | Самостоятельная работа обучающегося, часы, из них |                             |                                   |
|   |              | Лекционные занятия  | Семинарские занятия | Практические занятия | Лабораторные занятия | ⋮ | Групповые консультации | Индивидуальные консультации | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.)* | Всего   | Выполнение домашних заданий | Подготовка курсовой работы и т.п. |
| <b>VI семестр</b>   |              |   |                     |                      |                      |   |                        |                             |   |   |                             |                                   |
| 1. Принцип относительности. Преобразования Лоренца. Действие и лагранжиан свободной релятивистской частицы. Интервал. Световой конус. Собственное время. Релятивистская кинематика и динамика, четырехмерный формализм. Преобразование скоростей. Вектор 4-импульса частицы. Теорема Нетер и законы сохранения. |              | 2   |                     | 2                    |                      |   |                        |                             |   | 4   | 1                           |                                   |
| 2. Уравнения Максвелла в вакууме. Тензор напряженностей электромагнитного поля. Законы сохранения. Потенциалы электромагнитного поля. Действие и лагранжиан заряда в электромагнитном поле. Уравнение движения заряда. Преобразования Лоренца для поля. Инварианты поля.  |              | 2   |                     | 2                    |                      |   |                        |                             |   | 4   | 2                           |                                   |
| 3. Действие и лагранжиан для электромагнитного поля. Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Урав-   |              | 2   |                     | 2                    |                      |   |                        |                             |   | 4   | 1                           |                                   |

<sup>3</sup> Перечень видов учебных занятий уточняется в соответствии с учебным планом.

|   |  |   |  |   |  |  |  |  |  |   |   |  |  |
|---|--|---|--|---|--|--|--|--|--|---|---|--|--|
| нение непрерывности. Калибровочная инвариантность. Плотность и поток энергии электромагнитного поля.  |  |   |  |   |  |  |  |  |  |   |   |  |  |
| 4. Тензор энергии-импульса (ТЭИ) электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнений и законов сохранения для электромагнитного поля и для частиц. Физический смысл компонент ТЭИ. Движение частицы в однородном электрическом и магнитном поле. Нерелятивистское движение частицы в скрещенных электрическом и магнитном полях. Релятивистское движение частицы в параллельных однородных электрическом и магнитном полях. |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 2 |  |  |
| 5. Энергия электростатического поля. Энергия системы зарядов во внешнем электростатическом поле. Классический радиус электрона. Поле равномерно движущегося заряда. Потенциалы и поля вдали от системы движущихся зарядов. Мультипольные разложения потенциалов. Дипольный и квадрупольный моменты системы зарядов. Закон Био-Савара. Магнитный момент системы зарядов.   |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 2 |  |  |
| 6. Граничные задачи электростатики. Решения уравнений для потенциалов. Решение уравнения Пуассона. Запаздывающие потенциалы. Опережающие потенциалы.  |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 1 |  |  |
| 7. Постоянное электромагнитное поле. Электромагнитные волны в вакууме. Спектральное разложение. Релятивистское движение в кулоновом поле.   |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 1 |  |  |

|   |  |   |  |   |  |  |  |  |  |   |   |  |  |
|---|--|---|--|---|--|--|--|--|--|---|---|--|--|
| Волновое уравнение. Монохроматическая плоская волна. Поляризованный свет.   |  |   |  |   |  |  |  |  |  |   |   |  |  |
| 8. Поле движущихся зарядов. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Спектральное разложение запаздывающих потенциалов. Функция Лагранжа с точностью до членов второго порядка.  |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 1 |  |  |
| 9. Излучение электромагнитных волн. Дипольное излучение. Дипольное излучение при столкновениях. Тормозное излучение малых частот.   |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 1 |  |  |
| 10. Электрическое квадрупольное излучение. Магнитно-дипольное излучение. Торможение излучением в релятивистском случае.   |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 1 |  |  |
| 11. Излучение при Кулоновом взаимодействии случаи эллиптической и гиперболической траекторий. Излучение при движении в центральном Кулоновом поле. Интенсивность излучения при рассеянии                    |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 2 |  |  |
| 12. Угловое распределение излучения при скоростях близких к скорости света. Магнитно-тормозное (синхротронное) излучение. Излучение быстро движущегося (релятивистского) заряда.                            |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 2 |  |  |
| 13. Описание электромагнитного поля в веществе. Усреднение уравнений Максвелла. Система уравнений Максвелла в сплошной среде. Вектор электрической поляризации. Индукция макроскопического магнитного поля. |  | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  | 4 | 1 |  |  |
| 14. Классификация сплошных сред по их электромагнитным свойствам. Тен-  |  | 4 |  | 4 |  |  |  |  |  | 4 |   |  |  |

|   |                    |    |  |    |  |  |  |  |  |           |    |    |           |
|---|--------------------|----|--|----|--|--|--|--|--|-----------|----|----|-----------|
| зоры диэлектрической и магнитной восприимчивости. Электромагнитно линейные сплошные среды.  |                    |    |  |    |  |  |  |  |  |           |    |    |           |
| 15. Законы сохранения энергии и импульса в сплошной среде, дифференциальная и интегральная формы. Связь законов сохранения энергии и импульса в сплошной среде с 4-х мерным тензором энергии-импульса.  |                    | 2  |  | 2  |  |  |  |  |  | 4         | 2  |    |           |
| 16. Принцип взаимности (динамический) Лоренца. Принцип взаимности (электростатический) Грина. Поверхностные заряды. Поверхностные токи. Принцип изображений.  |                    | 2  |  | 2  |  |  |  |  |  | 4         | 1  |    |           |
| 17. Условия на границе раздела двух сред для электрического и магнитного поля. Заряд над проводящей плоскостью. Заряд вблизи заземленной проводящей сферы. Заряд вблизи заряженной проводящей сферы. Поле диполя вблизи заземленной проводящей сферы. |                    | 2  |  | 2  |  |  |  |  |  | 4         | 2  |    |           |
| Промежуточная аттестация <u>экзамен/курсовая работа</u> (указывается форма проведения)**  | 27/25 <sup>4</sup> | X  |  |    |  |  |  |  |  |           |    | 25 |           |
| <b>Итого</b>  |                    | 34 |  | 34 |  |  |  |  |  | <b>68</b> | 24 | 25 | <b>49</b> |

<sup>4</sup> Часы на промежуточную аттестацию (зачет, дифференцированный зачет, экзамен и др.) указываются в случае выделения их в учебном плане.

**7 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)**

**Методические указания для самостоятельной работы обучающихся и прочее**

| <i>№ п/п</i> | <i>№ раздела дисциплины</i> | <i>Содержание самостоятельной работы</i> | <i>Трудоемкость</i> |
|--------------|-----------------------------|--|---------------------|
| 2            | 1-17 (6 семестр)            | Защита курсовой работы (ПР-6)            | 48                  |

**Тематика курсовых работ**

1. **Мультипольное разложение для электрического и магнитного поля** (обзор темы).  
1. Рассчитать энергию квадруполь-квадрупольного взаимодействия двух возбужденных атомов водорода. Конфигурацию возбужденных орбиталей взять из книги А.И.Алексеев «Классическая электродинамика» Наука, Москва 1977, стр. 42. 2. Рассчитать энергию спин-спинового взаимодействия электрона с протоном в атоме водорода. Среднюю объемную плотность тока, обусловленную спином электрона взять из той же книги стр. 58
2. **Задача двух тел в релятивистской электродинамике** (обзор темы). 1. Рассчитать угол отклонения заряда пролетающего в кулоновом поле отталкивания и притяжения. 2. Рассчитать эффективное сечение рассеяния на малые углы при рассеянии частиц кулоновым полем. Задача: Две ультра-релятивистские частицы с противоположными электрическими зарядами пролетают мимо друг друга на прицельном расстоянии  $\rho \gg r_0$  ( $r_0$  – классический радиус электрона), так что их траектории движения мало отличаются от прямых. Оценить время (в лабораторной системе координат и в системе координат одной из частиц), на котором одна частица на другую действует посредством кулоновской силы существенно (то есть порядка пиковой силы).
3. **Аналитические методы решения задач электростатики и магнитостатики** (обзор темы с примерами). Задача 1: Рассчитать силу натяжения, возникающую в тонкой сфере радиуса  $R$ , равномерно заряженной зарядом  $q$ . Задача 2: Рассчитать силу натяжения, возникающую в тонком кольце радиуса  $r$ , равномерно заряженном зарядом  $q$ . Сравнить результат с задачей 1, дать физическое объяснение результатам. Задача 3: Внутри прямого проводника круглого сечения имеется круглая цилиндрическая полость, ось которой параллельна оси проводника. Смещение оси полости относительно оси провода определяется вектором  $\mathbf{a}$ . По проводнику течет ток одинаковой по всему сечению плотности  $\mathbf{j}$ . Рассчитать напряженность магнитного поля  $\mathbf{H}$  внутри полости.
4. **Поперечный и продольный эффект Доплера в релятивистской электродинамике: теория и эксперимент** (обзор вопроса). Вывести формулы для релятивистского эффекта Доплера (по частоте  $\omega$  и волновым векторам  $\mathbf{k}$ ) при произвольном направлении скорости  $\mathbf{v}$  относительно инерциальных систем отсчета. Рассчитать изменение частоты (эффект Доплера) и направления скорости света (абберация) при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Рассчитать степень когерентности при доплеровском механизме возникновения некогерентности и максвелловском распределении атомов по скоростям. (Считая, что атомы излучают лишь одну спек-

- тральную линию, частота которой в системе, связанной с атомом, равна  $\nu_0$ , найти спектральное распределение света.)
5. **Дипольное излучение в классической и релятивистской электродинамике** (обзор темы). 1. Рассчитать: а) угловое распределение интенсивности излучения  $dI/d\theta$  от диполя; б) полное излучение  $dE/dt$  от дипольного излучателя. 2. Рассчитать излучение диполя (с дипольным моментом  $p$ ), вращающегося в плоскости с постоянной угловой скоростью  $\Omega$ . Задача: Расстояние между двумя соприкасающимися концентрическими тонкими металлическими дисками радиуса  $R$ , помещенными в однородное электрическое поле  $E$ , изменяется по закону  $x = a(1 - \cos \omega t)$ ,  $E$  параллельно оси дисков. Найти среднюю интенсивность дипольного излучения системы. Считать, что  $a \ll R$ .
  6. **Мультипольное излучение** (обзор темы). Рассчитать поляризацию, угловое распределение и интенсивность излучения системы двух нерелятивистских одинаковых зарядов, вращающихся равномерно с частотой  $\omega$  по круговой орбите радиуса  $a$  и остающихся при этом на противоположных концах диаметра. Задача: Математический маятник (длина —  $l$ , масса —  $m$ ) с зарядом  $q$  висит на высоте  $h$  над бесконечной идеально проводящей плоскостью. Найти полную излучаемую мощность при малых колебаниях маятника с линейной амплитудой, если  $h \ll \lambda$ . Какова будет мощность излучения на частоте  $2\omega$ ? Рассчитать угловое и полное распределение интенсивности излучения, усредненные по времени, если маятник сделан коническим, вращающимся с угловой скоростью  $\omega$  вокруг вертикали.
  7. **Оценки мультипольного излучения. Антенны.** (Обзор темы.) 1. Рассчитать угловое распределение излучения системы двух электрических диполей, осциллирующих с частотой  $\omega$ ; амплитуды колебаний диполей одинаковы, диполи ориентированы параллельно друг другу и перпендикулярно линии, соединяющей диполи (расстояние между ними  $a = \lambda/4$ ). Колебания диполей сдвинуты по фазе на  $\pi/2$ . 2. Рассчитать угловое распределение излучения антенны, представляющей собой систему из  $N$  одинаковых синфазных диполей с дипольным моментом  $p$ , отстоящих друг от друга на расстоянии  $a = \lambda/2$  в направлении, перпендикулярном вектору  $p$ .
  8. **Излучение электромагнитных волн медленно движущимися зарядами** (обзор темы). 1. Рассчитать энергию теряемую электроном на дипольное излучение за период движения по эллиптической орбите вокруг неподвижного ядра с зарядом  $Z|e|$ . Полная энергия и момент импульса электрона:  $W$  и  $M$ . 2. Рассчитать энергию, теряемую положительно заряженной частицей заряда  $e_1$  и массы  $m_1$  на дипольное излучение за всё время пролёта около ядра с массой  $m_2$  и зарядом  $e_2$ . Прицельное расстояние  $l$ , скорость частицы относительно ядра на бесконечно большом расстоянии была  $v_0$ .
  9. **Излучение релятивистских частиц, синхротронное излучение** (обзор темы). 1. Рассчитать интенсивность излучения релятивистской заряженной частицы, равномерно движущейся по окружности в магнитном поле со скоростью  $v \sim c$ . Найти частоту, где сосредоточена основная часть излучения. 2. Рассчитать закон изменения энергии со временем для заряда, движущегося по круговой орбите в постоянном однородном магнитном поле и теряющего энергию путём излучения; найти энергию, теряемую за один оборот. Задача: Релятивистский электрон со скоростью  $v \sim c$  пролетает через область однородного электрического поля напряженности  $E$ . Протяженность области  $d$ ;  $v \parallel E$ . Найти: а) угловое спектральное распределение излучения электрона; б) полное

излучение; в) изменение импульса электрона за время пролета области поля,  $utc^2 \gg U$ , ( $U = E d$ ).

**10. Упругое рассеяние релятивистских частиц, инвариантное сечение** (обзор темы).

Рассчитать минимальный угол разлёта частиц после столкновения, если массы обеих частиц одинаковы. Задача: В штатном режиме работы коллайдера на встречных пучках при столкновении двух протонов интересующая нас реакция  $X$  происходит с превышением её порога в  $\alpha$  раз. Однако из-за неполадок один из двух пучков в коллайдере имеет энергию, составляющую часть  $\epsilon$  от номинальной. При каком значении  $\epsilon$  порог реакции  $X$  достигнут не будет? Пучки считать релятивистскими, так что  $\gamma \gg \alpha^2$ .

**11. Тензорный анализ и тензор электромагнитного поля.**

*Задание 1.* На плоскости введена косоугольная декартова система координат, угол между осями которой равен  $w$ . Записать метрический тензор и формулы для опускания и поднятия индексов (т.е. для перехода от контравариантных компонент к ковариантным и обратно). Убедиться, что скалярное произведение векторов не зависит от типа (ко или контра) используемого метрического тензора.

*Задание 2.* Записать компоненты ко- и контравариантного метрического тензора для пространства-времени Минковского в сферических координатах.

*Задание 3.* Обобщить закон преобразования векторов напряженности электромагнитного поля  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  при преобразовании Лоренца на случай произвольного направления вектора относительной скорости  $\mathbf{V}$ .

*Задание 4.* Пусть в лабораторной системе координат угол между векторами напряженности  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  равен  $\varphi$ . Найти систему координат, в которой они параллельны. Проанализировать задачу на существование и единственность решения.

## **8 Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения**

*Перечень обязательных видов учебной работы студента:*

- посещение лекционных занятий;
- ответы на теоретические вопросы на практических занятиях;
- решение задач и выполнение заданий на практических занятиях;
- обсуждение домашних заданий и контрольных работ;
- сдача домашних контрольных работ;
- сдача курсовой работы.

В случае использования инновационных форм проведения учебных занятий<sup>5</sup> приводится перечень инновационных форм проведения учебных занятий (по видам учебных занятий). (сведения о наличии по дисциплине (модулю) инновационных форм проведения учебных занятий, о количестве часов по видам учебных занятий отражаются в учебном плане по образовательной программе)

---

<sup>5</sup> При разработке и реализации ОПОП ВО выпускающая кафедра должна предусмотреть применение инновационных форм учебных занятий, развивающих у обучающихся навыки командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерские качества (включая, при необходимости, проведение интерактивных лекций, групповых дискуссий, ролевых игр, тренингов, анализ ситуаций и имитационных моделей, преподавание дисциплин (модулей) в форме курсов, составленных на основе результатов научных исследований, проводимых университетом, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей).

### Инновационные формы проведения учебных занятий

| Семестр    | Вид учебных занятий <sup>б</sup> | Используемые инновационные формы проведения учебных занятий  | Количество академ. часов |
|------------|----------------------------------|--|--------------------------|
| VI семестр | Практические занятия             | Совместное обсуждение подходящей математической модели с учетом симметрий физической задачи и уравнений адекватно описывающих поставленную задачу. | 7                        |
| Всего:     |                                  |  | 7                        |

#### 9 Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

– Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

Полная карта компетенции ОПК-3 приведена в документе «Матрица формирования компетенций» по направлению бакалавриата 03.03.02 «Физика».

– Описание шкал оценивания.

При балльно-рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах.

Оценка качества работы в рейтинговой системе является накопительной и используется для оценивания системной работы студентов в течение всего периода обучения.

По итогам работы в семестре студент может получить максимально **70** баллов. Итоговой формой контроля являются курсовая работа и экзамен. На экзамене студент может набрать максимально **30** баллов.

---

<sup>б</sup> Перечень видов учебных занятий уточняется в соответствии с учебным планом.

В течение семестра студент может заработать баллы за следующие виды работ:

| №            | Вид работы                      | Сумма баллов |
|--------------|---------------------------------|--------------|
| 6-ой семестр |                                 |              |
| 1            | Работа на практических занятиях | 33           |
| 2            | Сдача курсовой работы (ПР-6)    | 20           |
| 3            | Аудиторные занятия (посещение)  | 17           |
| Итого:       |                                 | 70           |

Если к моменту окончания семестра студент набирает от **51** до **70** баллов, то он получает допуск к экзамену.

Если студент к моменту окончания семестра набирает от **61** до **70** баллов, то он может получить автоматическую оценку «удовлетворительно». При желании повысить свою оценку, студент имеет право отказаться от автоматической оценки и сдать экзамен.

Если студент не набрал минимального числа баллов (**51** балл), то он не получает допуск к экзамену.

#### Соответствие рейтинговых баллов и академических оценок

| Общая сумма баллов за семестр | Итоговая оценка   |
|-------------------------------|---|
| 86-100                        | Отлично   |
| 71-85                         | Хорошо  |
| 51-70                         | Допуск к экзамену   |
| в том числе:                  |   |
| 61-70                         | Возможность получения автоматической оценки «удовлетворительно» |
| 51-60                         | Только допуск к экзамену  |
| 0-50 *                        | Неудовлетворительно (студент не допущен к экзамену)             |

Текущий контроль успеваемости осуществляется в процессе выполнения практических и самостоятельных работ в соответствии с ниже приведенным графиком.

#### График выполнения самостоятельных работ студентами в V семестре

| Виды работ | Недели учебного процесса |    |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------|--------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
|            | 1                        | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| ПР-6       |                          | ВЗ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 33 |    |

ВЗ – выдача задания

33 – защита задания

– Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Компетенция ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.<sup>7</sup>

код и формулировка компетенции

| РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) <sup>*)</sup>   | Уровень освоения компетенции <sup>**)</sup> | КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) ШКАЛА оценивания<br>(критерии берутся из соответствующих карт компетенций, шкала оценивания (4 или более шагов) устанавливается в зависимости от того, какая система оценивания (традиционная или балльно-рейтинговая) применяется) |   |   |   |   | ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ             |
|---|---|--|---|---|---|---|----------------------------------|
|   |   | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   |                                  |
| 32 (ОПК-3)<br><b>Знать:</b><br>теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении конкретных физических задач. | I - пороговый                               | Отсутствие знаний  | Не знает и не имеет представления о теоретических и методологических основах общей и теоретической физики.                  | Имеет общее представление о теоретических и методологических основах общей и теоретической физики, может предложить отдельные примеры их использования при решении задач профессиональной деятельности. | Имеет представление о взаимосвязи теоретических и методологических основ общей и теоретической физики, может предложить примеры их использования в разных областях физики | Имеет представление о взаимосвязи теоретических и методологических основ общей и теоретической физики, может предложить способ их использования при решении конкретной физической задачи. | Устное собеседование             |
| У1 (ОПК-3)<br><b>Уметь:</b><br>решать типовые учебные задачи по основным разделам общей и теоретической физики;   | I - пороговый                               | Отсутствие умений  | Не умеет решать типовые задачи из базовых разделов общей и теоретической физики; применять полученную теоретическую физику; | Умеет решать типовые задачи из базовых разделов общей и теоретической физики, но допускает отдельные ошибки. Частично   | Умеет решать комбинированные задачи из базовых разделов общей и теоретической физики. В целом успешно умеет   | Умеет решать задачи повышенной сложности из базовых разделов общей и теоретической физики. Полностью сформировано   | Выполнение практического задания |

<sup>7</sup> Данная таблица заполняется по каждой компетенции, формирование которой предусмотрено рабочей программой дисциплины (модуля), отдельно.

|  |               |                     |  |  |   |   |   |
|--|---------------|---------------------|--|--|---|---|---|
| применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий. |               |                     | скую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий.         | умеет применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий. | применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий   | вано умение применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий.                          |   |
| <i>B2 (ОПК-3)</i><br><b>Владеть:</b> навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении конкретных физических задач.       | I - пороговый | Отсутствие владения | Не владеет навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении конкретных физических и смежных задач. | Способен предложить примеры использования теоретических представлений отдельных разделов общей и теоретической физики для решения задач профессиональной деятельности.             | Владеет навыками применения теоретических моделей из базовых разделов общей и теоретической физики при интерпретации результатов в отдельно взятой области физики и смежных дисциплинах, но допускает отдельные неточности. | Владеет навыками применения теоретических моделей из базовых разделов общей и теоретической физики при планировании работ в профессиональной сфере деятельности и грамотной интерпретации полученных результатов. | <i>Выполнение практического задания</i> |

– Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

### Список вопросов к экзамену

1. 4-х мерное пространство-время, интервал, преобразования Лоренца. Ко- и контравариантные вектора, Лоренцево сокращение.
2. Относительность времени. 4-х скорость и ускорение. Энергия в СТО.
3. Действие для частицы в СТО. Действие для заряженной частицы в электромагнитном поле. Вид уравнения Гамильтона-Якоби.
4. Уравнение движения заряда в электромагнитном поле. Сила Лоренца.
5. Движение заряда в постоянном однородном электрическом поле.
6. Движение заряда в постоянном однородном магнитном поле.
7. Движение заряда в постоянных однородных электрическом и магнитном поле.
8. Тензор напряжённостей электромагнитного поля.
9. Преобразования Лоренца для электромагнитного поля.
10. Инварианты поля. Калибровочная инвариантность.
11. Действие для электромагнитного поля. 4-х вектор тока.
12. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии.
13. Уравнения Максвелла.
14. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.
15. Постоянное электромагнитное поле. Электростатическая энергия.
16. Поле равномерно движущегося заряда.
17. Движение в Кулоновом поле.
18. Дипольный момент системы электрических зарядов. Мультипольное разложение.
19. Система зарядов во внешнем поле.
20. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент.
21. Электромагнитные волны. Плоские волны.
22. Монохроматическая плоская волна. Эффект Доплера.
23. Поляризация света. Поляризационный тензор.
24. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы.
25. Потенциалы Лиенара-Вихерта.
26. Излучение электромагнитных волн.
27. Дипольное излучение.
28. Тормозное излучение. (Дипольное излучение при столкновениях.)
29. Тормозное излучение на малых частотах.
30. Излучение при Кулоновом взаимодействии (случай эллиптической траектории).
31. Излучение при Кулоновом взаимодействии (случай гиперболической траектории).
32. Эффективное излучение от пучка частиц в случае притягивающего центра.
33. Эффективное излучение от пучка частиц в случае отталкивающего центра.
34. Магнитно-дипольное излучение.
35. Электрическое квадрупольное излучение.
36. Поле излучения на близких расстояниях.
37. Излучение быстро движущегося (релятивистского) заряда.
38. Угловое распределение излучения при скоростях близких к скорости света.
39. Магнитно-тормозное (синхротронное) излучение.
40. Явление торможения излучением.
41. Описание электромагнитного поля в веществе. Усреднение уравнений Максвелла.
42. Вектор электрической поляризации.
43. Индукция макроскопического магнитного поля.
44. Система уравнений Максвелла в сплошной среде.
45. Классификация сплошных сред по их электромагнитным свойствам.
46. Электромагнитно линейные сплошные среды.
47. Тензоры диэлектрической и магнитной восприимчивости.

48. Закон сохранения энергии в сплошной среде, дифференциальная и интегральная формы.
49. Закон сохранения импульса в сплошной среде, дифференциальная и интегральная формы.
50. Принцип взаимности (динамический) Лоренца.
51. Принцип взаимности (электростатический) Грина.
52. Условия на границе раздела двух сред для электрического поля. Поверхностные заряды.
53. Условия на границе раздела двух сред для магнитного поля. Поверхностные токи.
54. Принцип изображений. Случай заряда над проводящей плоскостью. Случай заряда вблизи заземленной проводящей сферы.
55. Принцип изображений. Случай заряда вблизи заряженной проводящей сферы.
56. Принцип изображений. Случай диполя вблизи заземленной проводящей сферы.

– Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций. Процедура промежуточной аттестации проходит в соответствии с «Положением балльно-рейтинговой системе оценки и текущем контроле успеваемости студентов», а также «Положением о промежуточной аттестации» университета «Дубна».

## 10 Ресурсное обеспечение

### • Перечень основной и дополнительной учебной литературы

#### *Основная учебная литература*

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : Учебное пособие для вузов в 10 т. Т.2 : Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л.П.Питаевского. - 9-е изд.,стер. - Москва : Физматлит, 2017. - 508с. : ил. - ISBN 978-5-9221-1568-1.
2. Кураев, А. А. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие / А.А. Кураев, Т.Л. Попкова, А.К. Синицын. - Москва : НИЦ Инфра-М; Минск : Нов. знание, 2013. - 424 с.: ил.; . - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006211-2. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <https://znanium.com/catalog/product/367972> (дата обращения: 10.04.2020) Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
3. Будагян, И. Ф. Электродинамика : учебное пособие / И.Ф. Будагян, В.Ф. Дубровин, А.С. Сигов. - М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2019. - 304 с. - (Магистратура). – ISBN 978-5-98281-329-9. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1010105> (дата обращения: 10.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю

#### *Дополнительная учебная литература*

1. Гринев, А.Ю. Основы электродинамики с Matlab : учеб. пособие / А. Ю. Гринев, Е. В. Ильин. - М.: Логос, 2012. - 176 с. - ISBN 978-5-98704-700-2. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <https://znanium.com/catalog/product/468451> (дата обращения: 10.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
2. Каликинский, И. И. Электродинамика : учебное пособие / И.И. Каликинский. — 3-е изд-е, перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 159 с. — (Высшее образование: Магистратура). - ISBN 978-5-16-100062-5. - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062336> (дата обращения: 10.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
3. Кузнецов, С.И. Физика: Основы электродинамики. Электромагнитные колебания и волны : учеб. пособие / С.И. Кузнецов. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : Вузовский учебник ; ИНФРА-М, 2015. - 231 с. ISBN 978-5-16-101657-2 - Текст : электронный. // ЭБС "Znanium.com". - URL: <https://znanium.com/catalog/product/424601> (дата обращения: 10.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю

4. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1637-0. — Текст : электронный // ЭБС "Лань". — URL: <https://e.lanbook.com/book/50680> (дата обращения: 10.04.2020). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю

• **Периодические издания**

1. Журнал экспериментальной и теоретической физики: / Учредитель: РАН, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН; гл. ред. акад. Андреев А.Ф. - М.: ФГБУ «Российская академия наук». – Журнал выходит 1 раз в мес. - Основан в 1931 году. - ISSN 0044-4510. – Текст : электронный. Полные тексты статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: [https://www.elibrary.ru/title\\_about.asp?id=8682](https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=8682)
2. Медицинская физика: научно-техническое издание / Учредитель: Ассоциация медицинских физиков России; гл. ред. Наркевич Б.Я, д.т.н., проф., в.н.с. – М.: Ассоциация медицинских физиков России. – журнал выходит 2 раза в полуг. - Основан в 1995 году. – ISSN: 1810-200X. – Текст : электронный. – Полные электронные версии статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=42372751>
3. Ядерная физика: научный журнал / Учредитель: Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова НИЦ "Курчатовский институт"; гл. ред.: Далькаров О.Д. – М.: ООО «ИКЦ «Академкнига». – Журнал выходит 6 раз в год. - Журнал основан в 1965 году. - ISSN 0044-0027. – Текст : электронный. Полные электронные версии статей журнала доступны по подписке на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: [https://www.elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=8304](https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8304)
4. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: физика-математика: научный журнал / Учредитель: Московский государственный областной университет; гл. ред. Бугаев А.С. – М.: МГОУ. – Журнал выходит 6 раз в год. - Основан в 1998 году - ISSN 2310-7251. – Текст : электронный. – Полные электронные версии статей журнала доступны на сайте научной электронной библиотеки «eLIBRARY.RU»: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=25657](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=25657)

• **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

*Электронно-библиотечные системы и базы данных*

1. ЭБС «Znanium.com»: <http://znanium.com/>
2. ЭБС «Лань»: <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Юрайт»: <https://biblio-online.ru/>
4. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»: <http://biblioclub.ru/>
5. Научная электронная библиотека (РУНЭБ) «eLIBRARY.RU»: <http://elibrary.ru>
6. Национальная электронная библиотека (НЭБ): <http://нэб.рф/>
7. Базы данных российских журналов компании «East View»: <https://dlib.eastview.com/>

*Научные поисковые системы*

1. Math-Net.Ru - современная информационная система, предоставляющая российским и зарубежным математикам различные возможности поиска информации о математической жизни в России – <http://www.mathnet.ru/>
2. Google Scholar - поисковая система по научной литературе. Включает статьи крупных научных издательств, архивы препринтов, публикации на сайтах университетов, научных обществ и других научных организаций <https://scholar.google.ru/>
3. SciGuide - навигатор по зарубежным научным электронным ресурсам открытого доступа. <http://www.prometeus.nsc.ru/sciguide/page0601.ssi>

4. ArXiv.org - научно-поисковая система, специализируется в областях: компьютерных наук, астрофизики, физики, математики, квантовой биологии. <http://arxiv.org/>
5. WorldWideScience.org - глобальная научная поисковая система, которая осуществляет поиск информации по национальным и международным научным базам данных и порталам. <http://worldwidescience.org/>

#### ***Профессиональные ресурсы сети «Интернет»***

1. Федеральная информационная система «Единое окно доступа к информационным ресурсам»: <http://window.edu.ru/>
2. Образовательный математический сайт EXPonenta.ru <http://exponenta.ru/>
3. Математический сайт Math.ru <http://math.ru/lib/>

- **Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы**

Для проведения практических занятий могут использоваться мультимедиа-материалы (презентации, слайды, учебные видеофильмы и т.д.), в связи, с чем требуется оборудование зала видеопроектором, компьютером или ноутбуком, а также аудиоаппаратурой. Для выполнения заданий самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечиваются литературой, а также в определённом порядке могут получать доступ к информационным ресурсам Интернета.

Дисциплина обеспечена необходимым программным обеспечением, которое находится в свободном доступе (программы OpenOffice и MAXIMA, свободная лицензия, код доступа не требуется).

- **Описание материально-технической базы**

Компьютерный класс .

### **11 Язык преподавания**

Русский