

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Университет «Дубна»
(государственный университет «Дубна»)

Филиал «Протвино»
Кафедра «Техническая Физика»

УТВЕРЖДАЮ
Директор

_____ /Евсиков А.А./
подпись Фамилия И.О.

« 30 » июня 2023 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, 2023

Преподаватель:

Масликов А.А., к.ф.-м.н., доцент, кафедра «Техническая Физика»

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 «Техническая Физика»

(название кафедры)

Протокол заседания №7 от « 28 » июня 2023 г.

И.о. заведующего кафедрой профессор _____ Ющенко О.П.

(Фамилия И.О., подпись)

Эксперт (рецензент):

(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, место работы, должность; если текст рецензии не прикладывается – подпись эксперта (рецензента), заверенная по месту работы)

Оглавление

1 Цели и задачи освоения дисциплины.....	4
2 Место дисциплины в структуре ОПОП	4
3 Планируемые результаты обучения по дисциплине	4
4 Объем дисциплины	5
5. Содержание дисциплины.....	6
6 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине	9
7 Фонды оценочных средств по дисциплине	9
8 Ресурсное обеспечение	10
Приложение к рабочей программе дисциплины	14

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Дисциплина «Электродинамика» **имеет целью** сформировать у обучающихся профессиональную ОПК-2 компетенцию в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавров 03.03.02 «Физика» с учетом направленности бакалаврской программы – «Медицинская физика».

Целью дисциплины является систематическое изложение основных понятий и методов классической теоретической электродинамики в вакууме и сплошных средах; применение полученных знаний для решения конкретных задач с физическим содержанием; развитие навыков самостоятельной работы с литературой по данному предмету. 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. Знания, полученные студентами в результате освоения дисциплины, являются основой для дальнейшего обучения по направлению «Физика» и освоения следующих дисциплин модуля Б1.О.12 «Теоретическая физика»: «Квантовая теория», «Термодинамика и статистическая физика», «Физика конденсированного состояния», «Основы интроскопии», «Электроника медицинских установок», «Ускорители заряженных частиц» и специальных курсов медицинской физики.

При реализации цели предусматривается решение следующих задач:

- 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.

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

- атомная промышленность (в сфере обеспечения жизненного цикла (исследование, проектирование и разработка современного уникального оборудования, производство, наладка, эксплуатация) оборудования ускорительных комплексов как медицинского назначения, так и используемых для проведения исследований в области физики высоких энергий, физических установок, в том числе, медицинского назначения для обеспечения эффективного и безопасного развития атомной отрасли);
- сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сферах проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по тематике организации, управления результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью производства современного оборудования, обеспечивающего совершенствование ядерно-энергетических технологий).

2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Электродинамика» (Б1.О.12.03) относится к основной части блока дисциплин, модуля «Теоретическая физика» Б1.О.12

Дисциплина преподается в VI семестре III курса.

Приступая к изучению дисциплины «Электродинамика», студент имеет знания и навыки по дисциплинам: «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Векторный и тензорный анализ», «Теория функций комплексного переменного», «Теоретическая механика», «Уравнения математической физики».

3 Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и формулировка)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p><i>ОПК-2. Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.</i></p>	<p>ОПК-2.1. Проводит исследования, организует самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу для поиска и выработки новых решений в области физики</p>	<p>Знать основные принципы и основные этапы формирования и становления перспективной научной задачи, уметь грамотно разбить задачу на подзадачи и распределить их среди членов коллектива.</p> <p>Владеть методиками формулирования конкретных задач сводящихся к уравнениям математической физики, методами определения параметров научной новизны, значимости и эвристичности.</p>
	<p>ОПК-2.2. Выявляет перспективные проблемы и формулирует принципы решения актуальных научно-исследовательских задач в области медицинской физики</p>	<p>Уметь использовать знания современных проблем и новейших достижений в области аналитического и численного решения уравнений математической физики для решения актуальных научно-исследовательских задач.</p>
	<p>ОПК-2.3. Разрабатывает методики решения и координирует выполнение отдельных заданий при руководстве группой исследователей</p>	<p>Владеть теоретическими знаниями об организационно-управленческой работе в коллективе и определять порядок выполнения работ. Уметь принимать сложные решения на основе групповых интересов, выбирает оптимальные формы организации эксперимента.</p>

4 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 академических часов.

5. Содержание дисциплины
очная форма обучения

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (академ. часы)	в том числе:						Самостоятельная работа обучающегося
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) ¹						
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	КРП*	...	Всего	
VI семестр								
1. Основы Специальной Теории Относительности (СТО).	4	2	2				4.5	0.5
2. Уравнения Максвелла в вакууме.	4	2	2				4.5	0.5
3. Действие и лагранжиан для электромагнитного поля.	4	2	2				4.5	0.5
4. Тензор энергии-импульса (ТЭИ) электромагнитного поля.	4	2	2				4.5	0.5
5. Энергия электростатического поля.	4	2	2				4.5	0.5
6. Граничные задачи электростатики.	4	2	2				5	1
7. Постоянное электромагнитное поле.	4	2	2				5	1
8. Поле движущихся зарядов.	4	2	2				5	1
9. Излучение электромагнитных волн.	4	2	2				5	1
10. Мультипольное излучение.	4	2	2				5	1
11. Излучение при Кулоновом взаимодействии.	4	2	2				5	1
12. Угловое распределение излучения.	4	2	2				5	1
13. Описание электромагнитного поля в веществе.	4	2	2				4.5	0.5
14. Классификация сплошных сред по их электромагнитным свойствам.	4	2	2				4.5	0.5
15. Законы сохранения энергии и импульса в сплошной среде.	4	2	2				4.5	0.5
16. Принципы взаимности.	4	2	2				4.5	0.5
17. Условия на границе раздела двух сред для электрического и магнитного поля.	4	2	2				4.5	0.5

¹ Перечень видов учебных занятий уточняется в соответствии с учебным планом.

Промежуточная аттестация: - экзамен	27 ²	X						
Итого по дисциплине	95	34	34		1		108	12

*КРП - часы контактной работы на курсовую работу (проект) по дисциплине. Часы относятся к внеаудиторной контактной работе, выполняются вне расписания учебных занятий по дисциплине. Указываются, если предусмотрены учебным планом.

Содержание дисциплины

<p>1. Основы Специальной Теории Относительности (СТО). 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.</p>
<p>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.</p>
<p>3. Действие и лагранжиан для электромагнитного поля. Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Уравнение непрерывности. Калибровочная инвариантность. Плотность и поток энергии электромагнитного поля.</p>
<p>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.</p>
<p>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.</p>
<p>6. Граничные задачи электростатики. Решения уравнений для потенциалов. Решение уравнения Пуассона. Запаздывающие потенциалы. Опережающие потенциалы.</p>
<p>7. Постоянное электромагнитное поле. Электромагнитные волны в вакууме. Спектральное разложение. Релятивистское движение в кулоновом поле. Волновое уравнение. Монохроматическая плоская волна. Поляризованный свет.</p>

² Часы на промежуточную аттестацию (зачет, дифференцированный зачет, экзамен и др.) указываются в случае выделения их в учебном плане.

<p>8. Поле движущихся зарядов. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Спектральное разложение запаздывающих потенциалов. Функция Лагранжа с точностью до членов второго порядка.</p>
<p>9. Излучение электромагнитных волн. Дипольное излучение. Дипольное излучение при столкновениях. Тормозное излучение малых частот.</p>
<p>10. Мультипольное излучение. Электрическое квадрупольное излучение. Магнитно-дипольное излучение. Торможение излучением в релятивистском случае.</p>
<p>11. Излучение при Кулоновом взаимодействии. Случаи эллиптической и гиперболической траекторий. Излучение при движении в центральном Кулоновом поле. Интенсивность излучения при рассеянии</p>
<p>12. Угловое распределение излучения. Скорости близкие к скорости света. Магнитно-тормозное (синхротронное) излучение. Излучение быстро движущегося (релятивистского) заряда.</p>
<p>13. Описание электромагнитного поля в веществе. Усреднение уравнений Максвелла. Система уравнений Максвелла в сплошной среде. Вектор электрической поляризации. Индукция макроскопического магнитного поля.</p>
<p>14. Классификация сплошных сред по их электромагнитным свойствам. Тензоры диэлектрической и магнитной восприимчивости. Электромагнитно линейные сплошные среды.</p>
<p>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.</p>
<p>16. Принципы взаимности. Динамический Лоренца. Принцип взаимности (электростатический) Грина. Поверхностные заряды. Поверхностные токи. Принцип изображений.</p>
<p>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.</p>

6 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине

Методические материалы по дисциплине (модулю) и образовательной программе в целом представлены на официальном сайте образовательной организации (раздел «Сведения об образовательной организации» – Образование – Образовательные программы), в том числе методические указания к курсовой работе: Масликов А.А. - Руководство по написанию и оформлению курсовой работы по дисциплине «Электродинамика» (электронное методическое пособие) http://uni-protvino.ru/images/publications/ump_phys/tph_em_04.pdf .

7 Фонды оценочных средств по дисциплине

Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям образовательной программы по дисциплине разработаны фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения (знания, умения, навыки) и сформированные (формируемые) компетенции.

Эти фонды включают теоретические вопросы, типовые практические задания, контрольные работы, домашние работы, тесты, примерные темы курсовых работ (проектов) и критерии их оценивания и иные оценочные материалы, используемые при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Фонды оценочных средств представлены в приложении к рабочей программе.

При необходимости, обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются оценочными материалами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

8 Ресурсное обеспечение

8.1. Перечень литературы

Основная учебная литература

1. Ландау Л.Д. Курс теорет. Физики: 10т. Т2 Теория поля: Учебное пособие/ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц - Физматлит, 2018. - 508 с.: 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. Сеницын. - Москва : НИЦ Инфра-М; Минск : Нов. знание, 2013. - 424 с.: ил.; . - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006211-2. - Текст : электронный. // ЭБС "Znaniium.com". - URL: <https://znaniium.com/catalog/product/367972> (дата обращения: 15.04.2022) 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 "Znaniium.com". - URL: <https://znaniium.com/catalog/product/1010105> (дата обращения: 15.04.2022). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю
4. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] : Учебное пособие / Д.Ю. Муромцев [и др.]. - 2-е изд., доп. - СПб. : Лань, 2021. - 448с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература.). - ISBN 978-5-8114-1637-0.

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, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1637-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211646> (дата обращения: 15.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Григорьев А.Д. Электродинамика и микроволновая техника [Текст] : Учебник / А.Д. Григорьев. - 2-е изд. - СПб., 2021. - 704с. : ил. - ISBN 978-5-8114-0706-4

Григорьев, А. Д. Электродинамика и микроволновая техника : учебник / А. Д. Григорьев. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 704 с. — ISBN 978-5-8114-0706-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210095> (дата обращения: 15.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная учебная литература

1. Гринев, А. Ю. Основы электродинамики с Matlab : учебное пособие / А. Ю. Гринев, Е. В. Ильин. - Москва : Логос, 2020. - 176 с. - ISBN 978-5-98704-700-2. - Текст : электронный. // ЭБС "Znaniium.com". - URL: <https://znaniium.com/catalog/product/1213094> (дата обращения: 15.04.2022). 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 "Znaniium.com". - URL: <https://znaniium.com/catalog/product/1062336> (дата обращения: 15.04.2022). 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: 15.04.2022). 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. академ. 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
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
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

- **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 (ПУНЭБ) «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 (при необходимости)**

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 LibreOffice и МАХІМА, свободная лицензия, код доступа не требуется).

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

Проведение практических занятий по дисциплине предполагается использование специализированных аудиторий, оснащенных персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть и имеющих доступ к ресурсам глобальной сети Интернет.

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 LibreOffice, МАХІМА свободная лицензия, код доступа не требуется).

В филиале «Протвино» государственного университета «Дубна» созданы условия для обучения людей с ограниченными возможностями: использование специальных образовательных программ и методов обучения, специальных учебников, учебных пособий и дидактических материалов, специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающим обучающимся необходимую техническую помощь, обеспечение доступа в здания организации.

Имеется универсальное средство для подъема и перемещения инвалидных колясок – пандус-платформа складной.

Компьютерные классы оборудованы столами для инвалидов с ДЦП, также здесь оборудованы рабочие места для лиц с ОВЗ: установлены специальный программно-технологический комплекс, позволяющий работать на них студентам с нарушением опорно-двигательного аппарата, слабовидящим и слабослышащим. Имеются гарнитуры компактные, беспроводная клавиатура с большими кнопками, беспроводной компьютерный джостик с двумя выносными кнопками, беспроводной ресивер, беспроводная выносная большая кнопка, портативное устройство для чтения печатных материалов.

Специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы, в том числе в формате печатных материалов (крупный шрифт или аудиофайлы) имеются в ЭБС, на которые подписан филиал.

На сайте имеется справочная информация о расписании учебных занятий в адаптированной форме доступная для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья, являющихся слепыми или слабовидящими.

- **Описание материально-технической базы**

Компьютерный класс (15 ПК) (оборудование в собственности).

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья могут использовать специализированное программное и материально-техническое обеспечение:

- обучающиеся с нарушениями опорно-двигательного аппарата при необходимости могут использовать адаптивные технические средства: специально оборудованные джойстики, увеличенные выносные кнопки, клавиатуры с большими клавишами.
- обучающиеся с ограничениями по зрению могут прослушать доступный аудиоматериал или прочитать тексты, увеличив шрифт на экране монитора компьютера. Рекомендуется использовать экранную лупу и другие визуальные вспомогательные средства, чтобы изменить шрифт текста, межстрочный интервал, синхронизацию с речью и т.д., программы экранного доступа (скринридеры для прочтения текстовой информации через синтезированную речь) и/или включить функцию «экранного диктора» на персональном компьютере с операционной системой Windows 7, 8, 10.
- обучающиеся с ограничениями по слуху могут воспользоваться компьютерной аудиогарнитурой при прослушивании необходимой информации и портативной индукционной системой серии «ИСТОК».

При необходимости обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами (образовательная программа, учебные пособия и др.) в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Фонды оценочных средств

В результате освоения дисциплины «Уравнения математической физики» программы бакалавров по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» с учетом направленности бакалаврской программы – «Медицинская физика» выпускник должен обладать следующими компетенциями:

Компетенция **ОПК-2** - Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

код и формулировка компетенции

Описание показателей и критериев оценивания компетенций, а также шкал оценивания

Компетенция ОПК-2 - Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ИНДИКАТОР ДОСТИЖЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (код и наименование)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по практике ШКАЛА оценивания				
	1	2	3	4	5
ОПК-2.1. Проводит исследования, организует самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу для поиска и выработки новых решений в области физики.	Отсутствие знания	Не знает или знает слабо основные принципы и основные этапы формирования и становления научного коллектива, толерантно воспринимая социальные и культурные различия членов коллектива. Допускает множественные грубые ошибки.	Удовлетворительно знает основные принципы и основные этапы формирования и становления научного коллектива, толерантно воспринимая социальные и культурные различия членов коллектива. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Хорошо знает основные принципы и основные этапы формирования и становления научного коллектива, толерантно воспринимая социальные и культурные различия членов коллектива. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное знание основных принципов и основные этапы формирования и становления научного коллектива, толерантно воспринимая социальные и культурные различия членов коллектива. Не допускает ошибок.
	Отсутствие владения	Демонстрирует удовлетворительный уровень владения методиками формулирования конкретных задач в избранной научной области, методами	Демонстрирует хороший уровень владения методиками формулирования конкретных задач в избранной научной области, методами определения параметров	Демонстрирует высокий уровень владения методиками формулирования конкретных задач в избранной научной области, методами определения параметров	Демонстрирует свободное и уверенное владение методиками формулирования конкретных задач в избранной научной области, методами определения параметров

		определения параметров научной новизны, значимости и эвристичности. Допускает достаточно серьезные ошибки.	научной новизны, значимости и эвристичности. Допускает отдельные негрубые ошибки.	научной новизны, значимости и эвристичности. Не допускает ошибок.	научной новизны, значимости и эвристичности. Не допускает ошибок.
ОПК-2.2. Выявляет перспективные проблемы и формулирует принципы решения актуальных научно-исследовательских задач в области медицинской физики	Отсутствие умения	Демонстрирует частичное умение использовать знания современных проблем и новейших достижений физики для решения актуальных научно-исследовательских задач. Допускает множественные грубые ошибки.	Демонстрирует достаточно устойчивое умение использовать знания современных проблем и новейших достижений физики для решения актуальных научно-исследовательских задач. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует устойчивое умение использовать знания современных проблем и новейших достижений физики для решения актуальных научно-исследовательских задач. Не допускает ошибок.	Демонстрирует свободное и уверенное умение использовать знания современных проблем и новейших достижений физики для решения актуальных научно-исследовательских задач. Не допускает ошибок.
ОПК-2.3. Разрабатывает методики решения и координирует выполнение отдельных заданий при руководстве группой исследователей.	Отсутствие владения	Демонстрирует удовлетворительный уровень владения теоретическими знаниями об организационно-управленческой работе в коллективе и определять порядок выполнения работ. Уметь принимать сложные решения на основе групповых интересов, выбирает оптимальные формы организации эксперимента. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Демонстрирует хороший уровень владения теоретическими знаниями об организационно-управленческой работе в коллективе и определять порядок выполнения работ. Уметь принимать сложные решения на основе групповых интересов, выбирает оптимальные формы организации эксперимента. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует высокий уровень владения теоретическими знаниями об организационно-управленческой работе в коллективе и определять порядок выполнения работ. Уметь принимать сложные решения на основе групповых интересов, выбирает оптимальные формы организации эксперимента. Не допускает ошибок.	Демонстрирует свободное и уверенное владение теоретическими знаниями об организационно-управленческой работе в коллективе и определять порядок выполнения работ. Уметь принимать сложные решения на основе групповых интересов, выбирает оптимальные формы организации эксперимента. Не допускает ошибок.

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 в VI семестре является экзамен. На экзамене студент может набрать максимально **30** баллов.

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

№	Вид работы	Сумма баллов
	6-ой семестр	
1	Работа на практических занятиях	17
2	Сдача курсовой работы (ПР-6)	36
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 экзамена

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 VI 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															ЗЗ

ВЗ – выдача задания

ЗЗ – защита задания

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- в печатной форме,
- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

При необходимости обучающемуся инвалиду и лицу с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на зачете или экзамене. У обучающегося инвалида и лица с ОВЗ имеется возможность выбора формы контроля на практических занятиях, зачетах, экзаменах, подходящая конкретно для него.

Перечень обязательных видов учебной работы студента:

- посещение лекционных занятий;
- ответы на теоретические вопросы на практических занятиях;
- решение практических задач и заданий на практических занятиях;
- выполнение устных сообщений

Инновационные формы проведения учебных занятий

Семестр	Вид учебных занятий	Используемые инновационные формы проведения учебных занятий	Количество академ. часов
VI	Практические занятия	Совместное обсуждение подходящей математической модели с учетом симметрий физической задачи и уравнений адекватно описывающих поставленную задачу.	4
Всего:			4

Процедура промежуточной аттестации проходит в соответствии с «Положением о балльно-рейтинговой системе оценки и текущем контроле успеваемости студентов», а также «Положением о промежуточной аттестации» университета «Дубна».

Адаптированная рабочая программа учебной дисциплины (модуля) разработана в отношении разнонозологической учебной группы обучающихся, имеющих документально подтвержденные нарушения слуха, зрения, опорно-двигательного аппарата, соматические заболевания и поддающиеся коррекции нервно-психические нарушения или сочетанные нарушения.

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.

Содержание экзаменационного билета

1 вопрос – фундаментальная теория (знать + уметь)

2 вопрос – прикладная теория (уметь + владеть)

Практическая задача

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 ω 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 монохроматичности и максвелловском распределении атомов по скоростям. (Считая, что атомы излучают лишь одну спектральную линию, частота которой в системе, связанной с атомом, равна ν_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 \mathbf{p}), вращающегося в плоскости с постоянной угловой скоростью Ω . 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 ω 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 2ω ? Рассчитать угловое и полное распределение интенсивности излучения, усредненные по времени, если маятник сделан коническим, вращающимся с угловой скоростью ω вокруг вертикали.
 7. **Оценки мультипольного излучения. Антенны.** (Обзор темы.) 1. Рассчитать угловое распределение излучения системы двух электрических диполей, осциллирующих с частотой ω ; 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 \mathbf{p} , отстоящих друг от друга на расстоянии $a = \lambda/2$ в направлении, перпендикулярном вектору \mathbf{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 \mathbf{E} . Протяженность области d ; $\mathbf{v} \parallel \mathbf{E}$. Найти: а) угловое спектральное распределение излучения электрона; б) полное излучение; в) изменение импульса электрона за время пролета области поля, $\gamma mc^2 \gg U$, ($U = E d$).

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 α раз. Однако из-за неполадок один из двух пучков в коллайдере имеет энергию, составляющую часть ϵ от номинальной. При каком значении ϵ 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 φ . Найти систему координат, в которой они параллельны. Проанализировать задачу на существование и единственность решения.