Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
филиал МГУ в г. Севастополе
факультет естественных наук
кафедра физики и геофизики

УТВЕРЖДАЮ
Директор
Филиала МГУ в г. Севастополе
_____ О.А. Шпырко
«23» 09 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Наименование дисциплины (модуля):

Б_баз Электродинамика

код и наименование дисциплины (модуля)

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки:

01.03.02 Прикладная математика и информатика

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль) ОПОП:

общий

(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)

Форма обучения:
очная

очная, очно-заочная

Рабочая программа рассмотрена
на заседании кафедры физики и геофизики
протокол №5 от «19» июня 2026 г.
Заведующий кафедрой
_____(К.В. Показеев)
(подпись)

Рабочая программа одобрена
Методическим советом
Филиала МГУ в г. Севастополе
Протокол №1 от «22» сентября 2026 г.
_____(Л.И. Теплова)
(подпись)

Севастополь, 2026

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» в редакции приказа МГУ от 30 августа 2019 г. (в редакции приказа МГУ от 11 сентября 2019 г. №1109)

курс – 2

семестры – 4

зачетных единиц – 4

академических часов – 72, в т.ч.

лекций – 36 академических часов

практических занятий – 36 академических часов

Форма промежуточной аттестации:

зачет в 4 семестре

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.

Курс «Электродинамика», читаемый в 4 семестре студентам направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», представляет собой часть основы (вместе с курсом «Электродинамика») для всего дальнейшего обучения. В нем вводятся основные методы теоретического описания, расчета, качественного и количественного анализа динамических систем, общие для любых физических систем. Математической основой курса являются разделы курса математики, включая, в частности, математический анализ, аналитическую геометрию, линейную алгебру, теорию функций комплексной переменной, дифференциальные уравнения.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Успешное освоение дисциплин по высшей математике.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

понятия

- Электростатика и магнитостатика
- Плоские волны. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Ближняя и волновая зоны.
- Излучение нерелятивистских частиц, движущихся по заданному закону.
- Излучение частиц при столкновении.
- Рассеяние электромагнитных волн. Сила лучистого трения.
- Преобразования Лоренца.
- Тензор электромагнитного поля.
- Движение заряженных частиц в электромагнитных полях. Интегралы движения.
- Тензор энергии – импульса. Излучение быстро движущихся зарядов.
- Электростатика проводников. Метод изображений.
- Потенциалы и емкости.
- Краевые задачи электростатики
- Силы, действующие на диэлектрик во внешнем поле.
- Стационарные токи в проводниках.
- Индуктивность. Силы и энергия взаимодействия.
- Скин-эффект.
- Квазистационарные явления в проводниках.
- Электродинамика движущихся сред.
- Комплексная диэлектрическая проницаемость.

Уметь:

- применять изученные методы при решении задач.

Владеть:

- законами сохранения при взаимодействии частиц.
- уравнениями движения в форме Лагранжа.

Иметь опыт:

- применения преобразований Лоренца в задачах электродинамики.

4. Формат обучения – контактный.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 з. е., в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 72 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

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

6.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**	**Номинальные трудозатраты обучающегося**			**Всего академических часов**	**Форма текущего контроля успеваемости** (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы		**Самостоятельная работа обучающегося, академические часы**		
	Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*			
5 семестр					
Уравнения электромагнитн. поля	Консультации, 5	Решение задач, 5	6	16	-
Стационарные электромагнитн. поля	Консультации, 4	Решение задач, 4	6	14	-
Электромагнитн. волны	Консультации, 5	Решение задач, 5	7	17	-
Спец. теория относительности	Консультации, 5	Решение задач, 5	7	17	Контрольная работа
Заряд в электромагнитн. поле	Консультации, 4	Решение задач, 4	6	14	-
Рассеяние электромагнитн. волн. Сила лучистого трения.	Консультации, 5	Решение задач, 5	7	17	-
Тензор энергии-импульса	Консультации, 5	Решение задач, 5	6	16	-
6 семестр					
Электростатика проводников	Консультации, 5	Решение задач, 5	7	17	-
Электростатика	Консуль	Решение	7	17	-

диэлектриков	тации, 5	задач, 5			
Магнитостатика	Консультации, 4	Решение задач, 4	6	14	Контрольная работа
Электродинамика движущихся сред	Консультации, 5	Решение задач, 5	7	17	-
Квазистационарные явления в проводниках	Консультации, 4	Решение задач, 4	6	14	-
Электродинамика движущихся сред	Консультации, 5	Решение задач, 5	7	17	-
Комплексная диэлектрическая проницаемость	Консультации, 5	Решение задач, 5	7	17	Контрольная работа
Распространение электромагнитных волн в прозрачных средах	Консультации, 4	Решение задач, 4	6	14	-
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): например, курсовая работа, творческая работа (эссе)	-	-	-	-	-
	36	36	66	138	
Промежуточная аттестация *(зачет)*			6	6	
Итого				144	

6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
Лекции		
1.	**Уравнения электромагнитного поля.**	Основные математические соотношения, используемые в классической электродинамике. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме Сила Лоренца. Закон сохранения заряда и закон сохранения энергии в электродинамике. Связь полей и потенциалов. Калибровка Лоренца и уравнения для потенциалов в этой калибровке. Решение уравнений для потенциалов в виде запаздывающих потенциалов.

2.	**Стационарные электромагнитные поля.**	Уравнение для потенциала электростатического поля и его решение. Разложение потенциала электростатического поля по мультиполям. Электрический дипольный момент и его поле. Потенциал и напряженность поля электрического диполя в электростатике. Энергия диполя во внешнем поле. Электрический квадрупольный момент и его поле. Энергия электростатического поля. Энергия и сила взаимодействия двух удаленных точечных зарядов. Уравнения для векторных потенциалов. Векторный потенциал в напряженность поля магнитного диполя в статике. Энергия постоянного магнитного поля.
3.	**Электромагнитные волны.**	Свойства плоских электромагнитных волн. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Физические условия применимости мультипольного разложения для излучающих систем. Электрическое дипольное излучение. Магнитное дипольное излучение. Потенциалы, напряженности полей, интенсивность и угловое распределение электрического дипольного излучения. Сила радиационного трения в нерелятивистском приближении. Рассеяние электромагнитных волн на изотропном гармоническом осцилляторе.
4.	**Специальная теория относительности.**	Принцип относительности. Интервал и собственное время. Преобразования Лоренца для координат-времени в 3-мерном виде. Релятивистский закон сложения скоростей. Преобразования Лоренца для четырехмерных векторов. Законы преобразования напряженностей электромагнитного поля. Тензор электромагнитного поля и его инварианты. Тензоры в пространстве Минковского.
5.	**Заряд в электромагнитном поле.**	Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле. Калибровочная инвариантность. Движение заряда в постоянных однородных электрическом и магнитном

		полях. Тензор электромагнитного поля. Преобразования Лоренца для поля. Инварианты поля. Функция Лагранжа релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Уравнения движения в форме Лагранжа.
6.	**Рассеяние электромагнитных волн. Сила лучистого трения**.	Рассеяние линейно поляризованной плоской электромагнитной волны на изотропном гармоническом осцилляторе. Сила лучистого трения.
7.	**Тензор энергии-импульса.**	Тензор энергии-импульса. Излучение быстро движущихся зарядов.
8.	**Электростатика проводников.**	Уравнения и граничные условия для поля и потенциалов. Метод изображений. Потенциалы и емкости. Краевые задачи электростатики.
9.	**Электростатика диэлектриков.**	Силы, действующие между зарядами и диэлектриками. Поверхностные силы у диэлектриков. Силы, действующие на диэлектрик во внешнем поле.
10.	**Магнитостатика.**	Краевые задачи. Уравнения и граничные условия для поля. Магнитные поля постоянных токов. Метод вычисления магнитной энергии систем токов. Индуктивность. Силы и энергия взаимодействия.
11.	**Электродинамика движущихся сред.**	Основы магнитной гидродинамики Нерелятивистские уравнения движения. Явление распространения МГД волн в средах.
12.	**Квазистационарные явления в проводниках.**	Квазистационарное приближение для покоящегося проводящего вещества. Параметр проникновения магнитного поля в проводящее вещество. Сильный и слабый скин-эффект.
13.	**Комплексная диэлектрическая проницаемость.**	Соотношение Крамерса-Кронига. Тензор диэлектрической проницаемости.
14.	**Распространение плоских электромагнитных волн в прозрачных средах**.	Условия распространения электромагнитных колебаний в ионизованном разряженном газе. Отражение и преломление электромагнитных волн на границах

		разделяя двух сред.
Семинары		
1.	Темы 1-3	Векторный анализ и дельта-функция в применении к электродинамике полей и зарядов в вакууме.
2.	Темы 4-5	Решение задач по электростатике и магнитостатике.
3.	Темы 6-7	Плоские волны. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Ближняя и волновая зона.
4.	Тема 8	Контрольная работа по темам 1-7
5.	Тема 9	Излучение нерелятивистских частиц, движущихся по заданному закону.
6.	Темы 10-12	Излучение частиц при столкновении. Рассеяние электромагнитных волн. Сила лучистого трения.
7.	Тема 13	Контрольная работа по темам 9-12
8.	Темы 14-15	Тензор электромагнитного поля. Законы сохранения.
9.	Тема 16	Контрольная работа по темам 1-15
10.	Темы 17-18	Электростатика проводников метод изображений.
11.	Темы 19-21	Потенциалы и емкости.
12.	Тема 22	Контрольная работа по темам 17-21
13.	Темы 23-25	Краевые задачи электростатики. Электростатика диэлектриков.
14.	Темы 26-27	Силы, действующие на диэлектрик во внешнем поле. Стационарные токи в проводниках.
15.	Тема 28	Контрольная работа по темам 23-27
16.	Темы 29-31	Индуктивность. Силы и энергия взаимодействия. Скин-эффект.
17.	Темы 32-33	Квазистационарные явления. Электродинамика движущихся сред. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
18.	Тема 34	Контрольная работа по темам 17-33

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Система контроля знаний включает промежуточную аттестацию: зачет в конце пятого семестра и экзамен в конце шестого семестра. Зачет также включает решение задач и ответы на вопросы преподавателя. Экзамен проводится в устной форме и оценивается по четырехбалльной системе: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Текущая аттестация проводится в виде контрольных работ по пройденным темам (всего 3 работы за 2 семестра).

Примеры вариантов контрольных работ:

Вариант 1а **Фамилия……..**

1. Точечный заряд *e* расположен на расстоянии *a* от бесконечной плоской границы проводника. Найти потенциал φ, плотность поверхностного заряда σ_S, энергию *U* и силу *F* взаимодействия заряда с поверхностью. Найти полный индуцированный заряд.

2. Тонкий прямой провод с током $I_0 e^{-iwt}$ расположен параллельно проводящей плоскости на расстоянии *a* от нее. Найти магнитное поле и плотность поверхностных токов в приближении идеального проводника ($\delta << a$). Найти выделевшееся тепло (на 1 длины).

3. Зависимость между $\vec{D}(t)$ и $\vec{E}(t)$ имеет вид $\vec{D}(t) = \vec{E}(t) + \frac{4\pi\alpha_0}{\tau}\int_0^\infty e^{-\frac{t'}{\tau}} \cdot E(t-t')dt'$, где α_0 - поляризуемость. Найти выражение для $\varepsilon(\omega)$ и определить зависимость от частоты и фазовой скорости, а также определить групповую скорость в области прозрачности.

Вариант 1б **Фамилия……..**

1. Точечный заряд *e* расположен на расстоянии *a* от центра заземленного проводящего шара радиуса *R*. Найти потенциал, плотность поверхностных зарядов, полный заряд, индуцированный на шаре, энергию и силу взаимодействия заряда с поверхностью.
2. Пользуясь соотношением Крамерса–Кронига, найти действительную часть $\varepsilon'(\omega)$ диэлектрической проницаемости по ее мнимой части , где ε_0 и *v* –постоянные параметры.
3. Вычислить коэффициент самоиндукции единицы длины коаксиального кабеля.

Вариант 2а **Фамилия……..**

1. Диэлектрический шар радиуса *R* с проницаемостью ε, находящийся во внешнем однородном поле $\vec{E}_0$, разрезан на две половины плоскостью, перпендикулярной полю. Определить силу взаимодействия полушарий.
2. Получить выражение для тензора диэлектрической проницаемости разреженного газа из нейтральных одноэлектронных атомов, помещенного во внешнее постоянное магнитное поле $\vec{B}_0$. Воспользоваться осцилляторной моделью.
3. Найти траекторию частицы с массой *m*, энергией $E_0 < 0$ в центральном поле $U(r) = -b/r^2$, $b > 0$. При какой величине кинетического момента $L \neq 0$ частица может попасть в центр поля?

Вариант 2б **Фамилия……..**

1. Найти взаимную индукцию тонких коаксиальных колец с радиусами *a* и *b*, лежащих в параллельных плоскостях на расстоянии *h*. Расмотреть прендельные случаи а) $h>>a$, $b>>R$, б) $|a-b| >> h >> R$ (где *R* – толщина колец), в) $a=b >>h>>R$. μ=1.
2. Диэлектрический шар радиуса *R* с проницаемостью ε помещен во внешнее однородное поле $\vec{E}_0$. Найти потенциал во всем пространстве и электрическое поле внутри шарика.

3. Точечный заряд e_1 расположен на расстоянии a от центра изолированного проводящего шара радиуса R, на который нанесен заряд e_2 . Найти потенциал, плотность поверхностного заряда, энергию и силу взаимодействия.

Вариант 3а **Фамилия…….**

1. Вычислить индуктивность тороидального соленоида а) прямоугольного сечения, б) кругового сечения.
2. Найти высоту поднятия жидкости с плотностью ρ и диэлектрической проницаемостью ε между двумя пластинами плоского конденсатора, опущенными в жидкость, если к ним приложена разность потенциалов V.
3. Получить выражение для тензора диэлектрической проницаемости разреженного газа из нейтральных одноэлектронных атомов, помещенного во внешнее постоянное магнитное поле $\vec{B}_0$. Воспользоваться осцилляторной моделью.

Вариант 3б **Фамилия…….**

1. Точечный заряд e_1 расположен на расстоянии a от центра изолированного проводящего шара радиуса R, на который нанесен заряд e_2. Найти потенциал, плотность поверхностного заряда, энергию и силу взаимодействия.
2. Проводящий шар радиуса R и проводимостью σ помещен во внешнее однородное поле $\vec{H}_0 \cos(wt)$. Найти магнитный момент шара μ и интенсивность излучения I, если $\delta << R << c/\omega$, где δ – толщина скин-слоя.
3. Найти сопротивление заземления между шарами с радиусами a и b, расположенными на большом расстоянии L ($L >> a \sim b$) и помещенными в плохо проводящую среду с проводимостью σ.

7.2 Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

- для зачета

Вопросы:

1. Уравнения Максвелла и их физическое обоснование. Сила Лоренца.
2. Закон сохранения энергии в макроскопической электродинамике. Плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга.
3. Потенциалы электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность. Вывод уравнений для потенциалов при калибровке Лоренца и Кулона.
4. Уравнения для потенциалов статических электрического и магнитных полей и их решения.
5. Разложение потенциала электростатического поля по мультиполям (до квадруполя включительно).
6. Электрический дипольный момент. Потенциал и напряженность поля электрического диполя в статике. Энергия диполя во внешнем поле.
7. Энергия и сила электростатического взаимодействия двух удаленных систем электрических зарядов. Момент силы.
8. Магнитный момент токов. Векторный потенциал и поле магнитного диполя.
9. Уравнения для потенциалов и их решение в виде запаздывающих потенциалов.
10. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Физические условия применимости мультипольного разложения в задаче об излучении.
11. Электрическое дипольное излучение. Полная интенсивность, угловое распределение, поляризация.

12. Магнитное дипольное излучение. Полная интенсивность, угловое распределение, поляризация.
13. Электрическое квадрупольное излучение. Угловое распределение и полная интенсивность.
14. Сила радиационного трения (в нерелятивистском приближении).
15. Рассеяние электромагнитных волн на изотропном гармоническом осцилляторе.
16. Преобразование Лоренца для координат - времени. Интервал.
17. Релятивистская кинематика. Преобразование промежутка времени и длины отрезка.
18. Релятивистский закон сложения скоростей. Пространство Минковского. Примеры тензоров различного ранга.
19. Закон преобразования плотностей заряда и тока и его обоснование.
20. Ковариантная запись условия Лоренца и уравнений для потенциала. Законы преобразования потенциалов.
21. Тензор электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнений Максвелла для полей в вакууме.
22. Законы преобразования векторов поля Е и Н. Инварианты электромагнитного поля.
23. Астрономическая аберрация и эффект Доплера.
24. Вывод уравнений движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле.
25. Лагранжиан для заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Уравнения Лагранжа второго рода. Интегралы движения.
26. Связь между энергией, импульсом, массой и скоростью релятивисткой частицы. Закон преобразования энергии и импульса частиц.
27. Функция Лагранжа для электромагнитного поля при заданном движении источников. Получение уравнений Максвелла из принципа стационарного действия.
28. Усреднение микроскопических уравнений Максвелла. Векторы поляризации и намагничения среды, их связь с плотностью связанных зарядов и токов. Материальные уравнения для полей в покоящемся веществе.
29. Уравнения для потенциалов в однородном покоящемся веществе. Калибровочная инвариантность. Решение в виде запаздывающих потенциалов.
30. Граничные условия для полей в покоящейся кусочно-однородной среде.
31. Закон сохранения энергии в электродинамике покоящихся сред.
32. Силы в электростатике диэлектриков. Энергия системы проводников. Силы в электростатике проводников.
33. Потенциал в магнитном поле стационарных токов. Энергия магнитного поля стационарных токов. Магнитный поток. Коэффициенты самоиндукции и взаимоиндукции.
34. Квазистационарное приближение. Основные уравнения. Границы применимости.
35. Проникновение периодически меняющихся полей в проводник (в квазистационарном приближении). Скин-эффект.
36. Материальные уравнения для движущихся проводников. Плотность тока. ЭДС индукции при движении контура в магнитном поле (обобщенный закон Фарадея).
37. Основные уравнения магнитной гидродинамики идеально проводящей жидкости.
38. Формулы Крамерса-Кронига.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка / РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания *(домашние задания)*	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения *(контрольные работы)*	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) *(зачет)*	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

- **Перечень основной и дополнительной литературы**.

1. Батыгин В.П., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности / В.П. Батыгин, И.Н. Топтыгин. – 4-е изд. – М.: Лань, 2010. – 480 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т 2 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 8-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2006. – 536 с.
3. Тамм И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм. – 11-е изд., испр. и доп. – М.: Физматлит, 2003. – 616 с.

- **Описание материально-технического обеспечения.**
- Учебный кабинет №173, (40,71м ^{2})
- Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт.,
- 3-х створчатая доска для мела – 1 шт.,
- Стол для преподавателя – 1 шт.
- Стационарный экран для проектора – 1 шт.

9. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в общей характеристике ОПОП.

10. Язык преподавания русский.

11. Преподаватель (преподаватели).

Кандидат физико-математических наук, Старший преподаватель кафедры физики и геофизики Олег Евгеньевич Кульша.

12. Автор (авторы) программы.

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, кандидат физико-математических наук Олег Евгеньевич Кульша.