

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**ТЕОРИЯ ПОЛЯ**

## 5 Семестр

### Раздел 1 Основы специальной теории относительности. Уравнения движения заряда в электромагнитном поле.. Уравнения Максвелла. Постоянное электромагнитное поле.

#### 1.1 Контроль по итогам (КИ) - 8 Неделя

### Комплект заданий для контрольной работы по дисциплине Теория поля

Ниже приведен перечень оценочных средств используемых при проведении текущего контроля успеваемости студентов.

#### Тема 1. Специальная теория относительности. Кинематика релятивистских частиц. Контрольная работа №1. Вариант 1.

1. Два события в некоторой инерциальной системе отсчета  $K$  имеют координаты  $(0,0,0,0)$  и  $(1,0,0,2)$ . Найти скорость системы отсчета  $K'$ , движущейся вдоль оси  $x$  системы  $K$ , в которой эти события происходят одновременно.
2. Угол между направлением распространения света и осью  $x$  в системе  $K$  равен  $\theta$ . Найти угол  $\theta'$  между направлением распространения света и осью  $x'$  в системе  $K'$ , движущейся со скоростью  $V$  относительно системы  $K$  вдоль оси  $x$ .
3. Энергия и импульс частицы в некоторой инерциальной системе отсчета  $K$  равны  $\mathcal{E}$  и  $p$ . Определить энергию и импульс частицы в системе  $K'$ , движущейся вдоль оси  $x$  системы  $K$  со скоростью  $V$ .
4. Фотон с энергией  $\hbar\omega_0$  рассеивается на покоящемся электроне с массой  $m$ . Найти зависимость энергии рассеянного фотона  $\hbar\omega$  от угла рассеяния.

Выполняется в течение 45 минут. Оценивается по 5-балльной системе.

#### Контрольная работа №1. Вариант 2.

1. Два события в некоторой инерциальной системе отсчета  $K$  имеют координаты  $(0,0,0,0)$  и  $(1,0,3,0)$ . Могут ли эти события быть причинно связанными?
2. Две частицы движутся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями  $v$  относительно некоторой инерциальной системы отсчета. Найти скорость относительного движения частиц.
3. Найти релятивистскую поправку к нерелятивистскому выражению для функции Гамильтона свободной частицы.
4. Электронно-позитронная пара аннигилирует в два  $\gamma$ -кванта. Определить связь между углом вылета  $\gamma$ -кванта и его энергией в лабораторной системе (позитрон имеет энергию  $\mathcal{E}$ , электрон покоится).

## Тема. 2. Заряженные частицы во внешнем электромагнитном поле.

### Контрольная работа №2. Вариант 1.

1. Выразить ускорение  $\dot{\vec{v}}$  релятивистской частицы через ее скорость  $\vec{v}$  и напряженности полей  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ .
2. Релятивистская заряженная частица движется в постоянном и однородном электрическом поле  $\vec{E} = (E, 0, 0)$ . Проинтегрировать уравнения движения для начальных условий  $\vec{r}(0) = 0$ ,  $\dot{\vec{r}}(0) = 0$ .
3. Нерелятивистская заряженная частица движется в постоянных и однородных электрическом  $\vec{E} = (0, E, 0)$  и магнитном  $\vec{H} = (0, 0, H)$  полях. Проинтегрировать уравнения движения для начальных условий  $\vec{r}(0) = 0$ ,  $\dot{\vec{r}}(0) = 0$ . Указать условие применимости полученного результата.

### Контрольная работа №2. Вариант 2.

1. Выразить компоненты 4-вектора силы  $g^i = \frac{dp^i}{ds} = mc \frac{du^i}{ds}$  через трехмерный вектор силы  $\vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt}$  и скорость частицы  $\vec{v}$ .
2. Релятивистская заряженная частица движется в постоянном и однородном электрическом поле  $\vec{E} = (E, 0, 0)$ . Проинтегрировать уравнения движения для начальных условий  $\vec{r}(0) = 0$ ,  $\dot{\vec{r}}(0) = (0, v_0, 0)$ . Найти траекторию движения.
3. Релятивистская заряженная частица движется в постоянном и однородном магнитном поле  $\vec{H} = (0, 0, H)$ . Проинтегрировать уравнения движения для начальных условий  $\vec{r}(0) = (r_0, 0, 0)$ ,  $\dot{\vec{r}}(0) = (0, v_0, 0)$ .

## Тема. 3. Уравнения Максвелла и законы сохранения. Четырехмерная формулировка электродинамики.

### Контрольная работа №3. Вариант 1.

1. Векторный и скалярный потенциал удовлетворяют калибровочному условию  $\frac{1}{c} \frac{\partial \phi}{\partial t} + \text{div} \vec{A} = 0$ . Найти уравнение, которому должна удовлетворять функция  $f$ , входящая в калибровочное преобразование.
2. Вывести формулы преобразования компонент антисимметричного 4-тензора  $F^{ik}$  при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.
3. Получить уравнение непрерывности из уравнений Максвелла.
4. В покоящейся системе отсчёта напряжённости электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{H}$  полей взаимно ортогональны и не равны по модулю. Найти скорости  $\vec{V}$  тех инерциальных систем, в которых имеется только электрическое поле. Найти напряженность поля  $E'$ .

### Контрольная работа №3. Вариант 2.

1. Показать, что векторные потенциалы  $\vec{A} = \frac{1}{2}[\vec{H}\vec{r}]$ , где  $\vec{H} = (0, 0, H)$  и  $\vec{A}' = (-Hy, 0, 0)$  определяют одно и то же магнитное поле. Найти функцию  $f$ , осуществляющую калибровочное преобразование от  $\vec{A}$  к  $\vec{A}'$ .
2. Получить из уравнений Максвелла закон сохранения энергии электромагнитного поля в дифференциальной форме.
3. Найти уравнения для скалярного  $\phi(\vec{r}, t)$  и векторного  $\vec{A}(\vec{r}, t)$  потенциалов в кулоновской калибровке,  $\text{div}\vec{A} = 0$
4. В покоящейся системе отсчёта напряжённости электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{H}$  полей взаимно ортогональны и не равны по модулю. Найти скорости  $\vec{V}$  тех инерциальных систем, в которых имеется только магнитное поле. Найти напряженность поля  $H'$ .

## Методика оценки результатов выполнения контрольной работы

При оценке результатов выполнения контрольной работы, учитывается, прежде всего, количество правильно решенных задач. В задачах решенных неправильно может учитываться ход решения.

Критерии оценки, представлены в следующей таблице:

Код	Вид оценочного средства	Критерии	Пересчет в соответствии с текущим контролем	Максимальный балл – минимальный балл
КР-1 – КР-3	Контрольные работы №1-3	выставляется студенту если 90-100% задач выполнено правильно	<b>23-25</b>	<b>25 – 15</b>
		выставляется студенту если 80-89% задач выполнено правильно	<b>17-22</b>	
		выставляется студенту если 60-79% задач выполнено правильно	<b>15-17</b>	
		при ответе студента менее чем на 60% задач задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течении семестра или на зачетной неделе	<b>&lt;15</b>	

## Раздел 2 Плоские электромагнитные волны. Излучение электромагнитных волн. Тензор энергии-импульса.

### 2.1 Контроль по итогам (КИ) - 16 Неделя

## Комплект заданий для контрольной работы по дисциплине Теория поля

Ниже приведен перечень оценочных средств используемых при проведении текущего контроля успеваемости студентов.

### Тема. 4. Постоянное электромагнитное поле.

#### Контрольная работа №4. Вариант 1.

1. Найти напряженность и потенциал электрического поля внутри и снаружи бесконечного цилиндра радиуса  $R$ , заряженного с объемной плотностью  $\rho(r) = \rho_0 R/r$  ( $r$  – расстояние до оси цилиндра). Изобразить график зависимости  $\varphi(r)$ .
2. Вычислить тензор квадрупольного момента отрезка, равномерно заряженного с линейной плотностью  $\lambda$  ( $|x| \leq a$ ,  $y = z = 0$ ).
3. Сфера, равномерно заряженная по поверхности, вращается вокруг одного из своих диаметров с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Заряд сферы  $Q$ . Определить магнитный момент сферы.
4. Найти напряженность магнитного поля на оси кольца радиуса  $R$ , по которому течет постоянный ток  $J$ .

#### Контрольная работа №4. Вариант 2.

1. Найти напряженность и потенциал электрического поля внутри и снаружи шара радиуса  $R$ , заряженного равномерно с объемной плотностью  $\rho_0$ . Изобразить график зависимости  $\varphi(r)$ .
2. В вершинах квадрата со стороной  $a$  расположены точечные заряды  $e$  и  $-e$ . Знак заряда меняется на противоположный при переходе к соседней вершине. Найти тензор квадрупольного момента в системе координат, в которой оси  $x$  и  $y$  проходят через вершины.
3. Найти векторный потенциал и напряженность магнитного поля внутри и снаружи цилиндрической области радиуса  $R$ , по которой течет ток, распределенный по сечению с плотностью  $j(r) = j_0 R/r$  при  $r \leq R$  ( $r$  – расстояние до оси цилиндра).
4. Шар радиуса  $R$  заряжен с объемной плотностью  $r = \frac{1}{a} \hat{r}$  ( $\hat{a}$  – постоянный вектор). Определить дипольный момент шара.

### Тема. 5. Электромагнитные волны. Поле движущихся зарядов.

#### Контрольная работа №5. Вариант 1.

1. Зеркало движется со скоростью  $V$  в направлении, противоположном собственной нормали. На зеркало падает по нормали свет с частотой  $\omega$ . Определить частоту отраженной волны.
2. Напряжённость электрического поля волнового пакета имеет вид  $\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \exp\left(-\left(t - \vec{n}\vec{r} / c\right)^2 / \tau^2\right)$ , где  $\vec{E}_0$  и  $\vec{n}$  - постоянные векторы,  $\vec{n}^2 = 1$ . Разлагая заданную функцию в интеграл Фурье, представить волновой пакет как суперпозицию монохроматических волн.
3. Две волны поляризованы по кругу. Амплитуда правополяризованной волны равна  $A$ , а левополяризованной  $B$ . Частоты и фазы этих волн одинаковы. Определить поляризацию результирующей волны.

### Контрольная работа №5. Вариант 2.

1. Найти напряженность электрического поля, создаваемого зарядом  $e$ , движущимся с постоянной скоростью  $V$ .
2. Векторный потенциал плоской электромагнитной волны задан в виде  $\vec{A}(\vec{r}, t) = \vec{A}_0 F(\omega t - \vec{k}\vec{r})$ , где  $k = \omega / c$ ,  $\vec{A}_0$  - постоянный вектор,  $F$  - некоторая функция. Предполагая, что векторный и скалярный потенциалы взяты в лоренцевой калибровке, найти напряженности электрического и магнитного полей и вектор Пойтинга.
3. Две монохроматические волны поляризованы по кругу в противоположные стороны и распространяются в одном направлении. Амплитуды и частоты волн одинаковы, а фазы отличаются на постоянную величину. Определить поляризацию суммарной волны.

## Тема. 6. Излучение электромагнитных волн.

### Контрольная работа №6. Вариант 1.

1. Электрон с массой  $m$  и зарядом  $-e$  пролетает на большом прицельном расстоянии  $l$  от неподвижного ядра с зарядом  $Ze$ . Считая приближенно траекторию заряда прямолинейной, определить полную энергию, теряемую электроном на дипольное излучение за все время пролета. Скорость электрона перед столкновением  $v$ .
2. Определить закон изменения со временем энергии нерелятивистского заряда, движущегося по круговой орбите (в плоскости  $xy$ ) в постоянном однородном магнитном поле  $\vec{H} = (0, 0, H)$  и теряющего энергию на излучение.
3. Циркулярно-поляризованная волна  $\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \left\{ \vec{e}_x \cos(\omega t - kz) + \vec{e}_y \sin(\omega t - kz) \right\}$  падает на свободный электрон. Найти среднюю за период волны интенсивность дипольного излучения  $dI$  в элемент телесного угла  $d\Omega$  и полную интенсивность излучения  $I$ .

### Контрольная работа №6. Вариант 2.

1. Напряжённость  $\vec{H}$  магнитного поля в полупространстве однородна, постоянна и направлена параллельно граничной плоскости. В это полупространство влетает частица с массой  $m$  и зарядом  $e$ . Скорость  $\vec{v}$  при влёте перпендикулярна граничной плоскости. Определить энергию, теряемую частицей на дипольное излучение за все время пролёта.
2. Диполь вращается в плоскости  $xy$  с угловой скоростью  $\omega$ ,  $\vec{d}(t) = (d \cos \omega t, d \sin \omega t, 0)$ . Найти угловое распределение дипольного излучения  $dI / d\Omega$  и полную энергию  $I$ , излучаемую в единицу времени. Найти усреднённые по времени значения  $dI / d\Omega$  и  $I$ .
3. Электрон с массой  $m$  и зарядом  $e$  влетает в полупространство, в котором напряжённость  $\vec{E}$  электрического поля однородна и постоянна. Направление скорости электрона при влёте противоположно вектору  $\vec{E}$ . Определить энергию, излученную электроном в интервале частот от  $\omega$  до  $\omega + d\omega$  за всё время движения во внешнем поле.



## Методика оценки результатов выполнения контрольной работы

При оценке результатов выполнения контрольной работы, учитывается, прежде всего, количество правильно решенных задач. В задачах решенных неправильно может учитываться ход решения.

Критерии оценки, представлены в следующей таблице:

Код	Вид оценочного средства	Критерии	Пересчет в соответствии с текущим контролем	Максимальный балл – минимальный балл
КР-4 – КР-6	Контрольные работы №4-6	выставляется студенту если 90-100% задач выполнено правильно	<b>23-25</b>	<b>25 – 15</b>
		выставляется студенту если 80-89% задач выполнено правильно	<b>17-22</b>	
		выставляется студенту если 60-79% задач выполнено правильно	<b>15-17</b>	
		при ответе студента менее чем на 60% задач задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течении семестра или на зачетной неделе	<b>&lt;15</b>	

## 5 Семестр

### Экзамен

#### СПИСОК ВОПРОСОВ

1. Принцип относительности Эйнштейна. Скорость распространения взаимодействий.
2. Интервал между событиями. Собственное время.
3. Преобразования Лоренца. Преобразования длины, объема и времени при переходе из одной инерциальной системы отсчёта в другую.
4. Преобразование скорости. Аберрация света.
5. Четырёхмерное псевдоевклидово пространство. Четырёхмерные координаты, скорость и ускорение.
6. Принцип наименьшего действия для свободной релятивистской частицы. Действие и функция Лагранжа, импульс и энергия. Функция Гамильтона.
7. Распад частиц. Порог реакции с образованием частиц.
8. Упругое столкновение частиц. Эффект Комптона.
9. Действие, функция Лагранжа и уравнения движения заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле.
10. Четырёхмерный потенциал поля, электрическое и магнитное поля. Калибровочная инвариантность.
11. Четырёхмерная форма уравнений движения заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Тензор электромагнитного поля.
12. Законы преобразования полей. Инварианты поля.
13. Движение заряженной частицы в постоянном однородном электрическом поле.
14. Движение заряженной частицы в постоянном однородном магнитном поле.
15. Плотность заряда и плотность тока заряженных частиц. Уравнение непрерывности.
16. Уравнения Максвелла.

17. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга.
18. Уравнения электростатики. Общее решение уравнения Пуассона.
19. Электростатическая энергия системы зарядов.
20. Поле системы зарядов на большом расстоянии. Дипольный момент.
21. Тензор квадрупольного момента.
22. Система зарядов во внешнем постоянном электрическом поле: энергия и сила, действующая на систему в слабо неоднородном постоянном электрическом поле.
23. Уравнения магнитостатики.
24. Магнитное поле на большом расстоянии от системы постоянных токов. Магнитный момент.
25. Связь между магнитным и механическим моментами системы заряженных частиц.
26. Уравнения Максвелла в отсутствие зарядов и токов. Волновое уравнение.
27. Плоская волна.
28. Монохроматическая плоская волна. Поляризация.
29. Волновое уравнение в присутствии движущихся зарядов.
30. Запаздывающие потенциалы.
31. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Поле заряда, совершающего заданное движение (без вывода).
32. Запаздывающие потенциалы на больших расстояниях от системы. Поле излучения.
33. Дипольное излучение: угловое распределение, интенсивность, спектральное распределение, условия применимости.
34. Магнитно-дипольное и квадрупольное излучение (без вывода).
35. Поле излучения быстро движущегося заряда. Интенсивность излучения..
36. Угловое распределение излучения быстро движущегося заряда.

- 37.** Рассеяние электромагнитных волн свободными медленно движущимися зарядами. Рассеяние электромагнитной волны осциллятором
- 38.** Торможение излучением. Границы применимости классической электродинамики.

## Билеты

### БИЛЕТ № 1

1. Постоянное магнитное поле. Закон Био и Савара.
2. Рассеяние электромагнитной волны свободным зарядом.

### БИЛЕТ № 2

1. Интервал между событиями. Собственное время.
2. Запаздывающие потенциалы.

### БИЛЕТ № 3

1. Действие и функция Лагранжа свободной релятивистской частицы. Импульс и энергия.
2. Запаздывающие потенциалы на больших расстояниях от системы. Поле излучения.

### БИЛЕТ № 4

1. Электростатическая энергия системы зарядов.
2. Дипольное излучение (поле излучения, интенсивность излучения).

### БИЛЕТ № 5

1. Упругое столкновение релятивистских частиц.
2. Спектральное распределение излучения при периодическом движении зарядов.

### БИЛЕТ № 6

1. Четырехмерные скаляры, векторы, тензоры.
2. Спектральное распределение энергии дипольного излучения.

### БИЛЕТ № 7

1. Четырехмерный потенциал поля. Действие и функция Лагранжа заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Уравнение движения.
2. Плоские электромагнитные волны.

### БИЛЕТ № 8

1. Тензор электромагнитного поля.
2. Потенциалы Лиенара-Вихерта.

БИЛЕТ № 9

1. Основные уравнения электростатики. Общее решение уравнения Пуассона.
2. Запаздывающие потенциалы на больших расстояниях от системы. Поле излучения.

БИЛЕТ № 10

1. Электростатическое поле на большом расстоянии от системы зарядов. Дипольный момент.
2. Поле излучения релятивистской частицы.

БИЛЕТ № 11

1. Преобразования Лоренца. Сокращение масштабов. Замедление времени. Преобразование скоростей.
2. Запаздывающая функция Грина волнового уравнения.

БИЛЕТ № 12

1. Преобразования Лоренца для поля. Инварианты поля.
2. Монохроматические плоские волны. Поляризация волн.

БИЛЕТ № 13

1. Объемная плотность заряда и тока. Четырехмерный ток. Уравнение непрерывности.
2. Рассеяние электромагнитной волны свободным зарядом.

БИЛЕТ № 14

1. Калибровочная инвариантность.
2. Угловое распределение излучения быстро движущегося заряда в случае, когда скорость и ускорение параллельны.

БИЛЕТ № 15

1. Уравнения Максвелла.
2. Рассеяние электромагнитной волны осциллятором.

БИЛЕТ № 16

1. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля.
2. Поле равномерно движущегося заряда.

БИЛЕТ № 17

1. Порог реакции с образованием частиц.
2. Дипольное излучение (поле излучения, интенсивность излучения).

БИЛЕТ № 18

1. Эффект Доплера.
2. Интенсивность излучения релятивистской частицы.

БИЛЕТ № 19

1. Магнитное поле на большом расстоянии от системы токов.
2. Плоские электромагнитные волны.

БИЛЕТ № 20

1. Энергия системы зарядов во внешнем постоянном слабо неоднородном электрическом поле.
2. Торможение излучением нерелятивистской частицы.

БИЛЕТ № 21

1. Эффект Комптона.
2. Тензор квадрупольного момента.

БИЛЕТ № 22

1. Действие и функция Лагранжа электромагнитного поля.
2. Спектральное распределение энергии излучения.

## Методика оценки результатов сдачи экзамена

Критерии оценки знаний устанавливаются в соответствии с требованиями к профессиональной подготовке, исходя из действующих учебных планов и программ, с учётом характера будущей практической деятельности выпускника.

**«ОТЛИЧНО»** (45-50 баллов) - студент владеет знаниями предмета в соответствии с рабочей программой, достаточно глубоко осмысливает дисциплину; самостоятельно, в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на вопрос билета, четко формулирует ответ.

**«ХОРОШО»** (35-44 баллов) - студент владеет знаниями дисциплины почти в полном объеме программы (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценный ответ на вопрос билета.

**«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО»** (30-34 баллов) - студент владеет основным объемом знаний по дисциплине; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускаются ошибки по существу вопросов.

**«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО»** (ниже 30 баллов) - студент не освоил обязательного минимума знаний предмета; не способен ответить на вопрос билета даже при дополнительных наводящих вопросах экзаменатора.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе в соответствии со следующей шкалой:

Оценка по 5-балльной шкале	Сумма баллов за разделы	Оценка ECTS
5 – «отлично»	90-100	A
4 – «хорошо»	85-89	B
	75-84	C
	70-74	D
	65-69	
3 – «удовлетворительно»	60-64	E
2 – «неудовлетворительно»	Ниже 60	F

Расшифровка уровня знаний, соответствующего полученным баллам, дается в таблице указанной ниже

Оценка по 5-балльной шкале – оценка по ECTS	Сумма баллов за разделы	Требования к знаниям на устном зачёте
«отлично» – A	90 ÷ 100	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
«хорошо» – D, C, B	70 ÷ 89	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
«удовлетворительно» – E, D	60 ÷ 69	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного



		материала.
«неудовлетворительно» – <i>F</i>	менее 60	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.