

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
Д.А. Зубцов

03 июня 2013 г.

## П Р О Г Р А М М А

по курсу Общая физика: Электричество и магнетизм  
по направлению подготовки 010900 «Прикладные математика и физика»

факультеты: для всех факультетов

кафедра Общей физики

курс: II

семестр: 3

Трудоёмкость:

теор. курс: обязательная часть — 4 зач. ед.,

вариативная часть — 1 зач. ед., доп. за сложность — 1 зач. ед.

физ. практикум: обязательная часть — 2 зач. ед., вариативная  
часть — 0 зач. ед., доп. за сложность — 1 зач. ед.

лекции — 68 час. Экзамен — 3 семестр

практические (семинарские)

занятия — 34 часа Диф. зачёт — 3 семестр

лабораторные занятия — 68 час. Самостоятельная работа

ВСЕГО ЧАСОВ – 170 — 2 часа в неделю

Программу и задание составили:

д.ф.-м.н., проф. С.М. Козел,

д.ф.-м.н., проф. Г.Р. Локшин

Программа принята на заседании  
кафедры общей физики 22 мая 2013 года

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

А.В. Максимычев

## ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

1. Электрические заряды и электрическое поле. Закон сохранения заряда. Напряжённость электрического поля. Закон Кулона. Система единиц СГСЭ. Принцип суперпозиции. Электрическое поле диполя.

2. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме в интегральной и дифференциальной формах. Её применение для нахождения электростатических полей.

3. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Связь напряжённости поля с градиентом потенциала. Граничные условия на заряженной поверхности. Уравнения Пуассона и Лапласа. Единственность решения электростатической задачи. Метод «изображений».

4. Электрическое поле в веществе. Проводники в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Свободные и связанные заряды. Теорема Гаусса при наличии диэлектриков. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость. Граничные условия на поверхности проводника и границе двух диэлектриков.

5. Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля и её локализация в пространстве. Объёмная плотность энергии. Взаимная энергия зарядов. Энергия диполя в электрическом поле. Энергетический метод вычисления сил в электрическом поле.

6. Постоянный ток. Сила и плотность тока. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах. Электродвижущая сила. Правила Кирхгофа. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля–Ленца. Объёмные токи.

7. Магнитное поле постоянных токов в вакууме. Вектор магнитной индукции. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Сила Ампера. Закон Био–Савара. Магнитное поле равномерно движущегося точечного заряда. Рамка с током в магнитном поле. Магнитный момент тока.

8. Теорема о циркуляции для магнитного поля в вакууме и её применение к расчету магнитных полей. Магнитное поле торои-

дальной катушки и соленоида. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции. Понятие о вектор-потенциале.

9. Магнитное поле в веществе. Магнитная индукция и напряжённость поля. Вектор намагничённости. Токи проводимости и молекулярные токи. Теорема о циркуляции для магнитного поля в веществе. Граничные условия на границе двух магнетиков. Применение теоремы о циркуляции для расчёта магнитных полей.

10. Магнитные свойства вещества. Качественные представления о механизме намагничивания пара- и диамагнетиков. Понятие о ферромагнетиках. Гистерезис. Магнитные свойства сверхпроводников I рода.

11. Электромагнитная индукция в движущихся и неподвижных проводниках. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Относительный характер электрического и магнитного полей. Преобразование  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  (при  $v \ll c$ ).

12. Коэффициенты само- и взаимной индукции. Процесс установления тока в цепи, содержащей индуктивность. Теорема взаимности. Магнитная энергия и её локализация в пространстве. Объёмная плотность энергии. Энергетический метод вычисления сил в магнитном поле. Подъёмная сила электромагнита.

13. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Определение удельного заряда электрона.

14. Квазистационарные процессы. Колебания в линейных системах. Колебательный контур. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент и добротность. Энергетический смысл добротности.

15. Вынужденные колебания под действием синусоидальной силы. Амплитудная и фазовая характеристики. Резонанс. Процесс установления стационарных колебаний.

16. Параметрическое возбуждение колебаний. Понятие об автоколебаниях. Обратная связь. Условие самовозбуждения. Роль нелинейности.

17. Комплексная форма представления колебаний. Векторные диаграммы. Комплексное сопротивление (импеданс). Правила

Кирхгофа для переменных токов. Работа и мощность переменного тока.

18. Вынужденные колебания под действием несинусоидальной силы. Амплитудная и фазовая модуляции. Понятие о спектральном разложении. Спектр одиночного прямоугольного импульса и периодической последовательности импульсов. Соотношение неопределённостей.

19. Спектральный анализ линейных систем. Колебательный контур как спектральный прибор. Частотная характеристика и импульсный отклик. Понятие о детектировании модулированных сигналов.

20. Электрические флуктуации. Тепловой шум, формула Найквиста. Дробовой шум, формула Шоттки (без вывода). Флуктуационный предел измерения слабых сигналов.

21. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Граничные условия. Ток смещения. Материальные уравнения. Волновое уравнение. Электромагнитные волны в однородном диэлектрике, их поперечность и скорость распространения.

22. Поток энергии в электромагнитной волне. Закон сохранения энергии и теорема Пойнтинга.

23. Электромагнитная природа света. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение Гельмгольца. Плоские и сферические волны Давление излучения. Электромагнитный импульс.

24. Понятие о линиях передачи энергии. Волны вдоль проводов. Коэффициент стоячей волны (КСВ). Согласованная нагрузка.

25. Электромагнитные волны в прямоугольном волноводе. Дисперсионное уравнение. Критическая частота. Понятие об объёмных резонаторах.

26. Скин-эффект. Излучение диполя (без вывода).

27. Электромагнитные волны на границе раздела двух диэлектриков. Формулы Френеля. Явление Брюстера. Явление полного внутреннего отражения. Понятие о поверхностных волнах.

28. Плазма. Экранировка, дебаевский радиус. Плазменная частота. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Электромагнитные волны в плазме.

## Литература

### Основная литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. – М.: Наука, 1996.
2. Кингсеп А.С., Локишин Г.Р., Ольхов О.А. Курс общей физики. Т. 1. – М.: Физматлит, 2001.
3. Кириченко Н.А. Электричество и магнетизм. М.: МФТИ, 2011.

### Дополнительная литература

1. Фейнман Р.П. Фейнмановские лекции по физике. Выпуски 5, 6, 7. – М.: Мир, 1977.
2. Парселл Э. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1983.
3. Горелик Г.С. Колебания и волны. – М.: Физматлит, 2006.
4. Калашиников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1997.
5. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Физматлит, 2003.

### **ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ для студентов 2-го курса на осенний семестр 2013/2014 учебный год**

Дата	№ сем	Тема семинарских занятий	гр. 1	гр. 2
1–7 сентября	1	Электрическое поле. Принцип суперпозиции. Поле диполя. Теорема Гаусса.	1.9 1.10 1.15 1.16 1.20 1.22	1.5 1.17 1.23
8–14 сентября	2	Потенциал. Проводники в электрическом поле. Метод изображений.	2.4 2.5 1.24 2.22 2.30	1.25 2.15
15–21 сентября	3	Электрическое поле в веществе. Векторы $\vec{E}$ и $\vec{D}$ .	3.1 3.7 3.13 3.23 3.26 3.30	3.19 3.24
22–28 сентября	4	Энергия электрического поля. Энергетический метод вычисления сил. Токи в неограниченных средах.	3.43 3.50 3.63 3.67 3.70 4.33*	3.61 4.23

29 сент.–5 окт.	<b>5</b>	Магнитное поле тока. Теорема о циркуляции. Магнитный момент.	5.5 5.6 5.14 5.18 5.21 5.33	5.16 5.23
6–12 октяб-ря	<b>6</b>	Магнитное поле в веществе. Векторы $\vec{B}$ и $\vec{H}$ .	6.1 6.4 6.5 6.9 6.15 6.18	6.12 6.16
13–19 окт.	Контрольная работа.			
20–26 окт.	Разбор контрольной работы. Сдача 1-го задания.			
27 окт.–2 нояб.	<b>7</b>	Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Электромагнитная индукция. Теорема взаимности.	5.28 5.30 8.30 8.34 8.64 8.69	5.31 8.47
3–9 нояб.	<b>8</b>	Магнитная энергия. Силы в магнитном поле. Сверхпроводники в магнитном поле.	6.23* 6.26 6.37 7.20 7.31 7.58	7.27 7.64
10–16 нояб.	<b>9</b>	Переходные процессы в электрических цепях. Свободные колебания.	9.8 9.15 9.27 9.36 9.44 9.53	9.30 9.48*
17–23 нояб.	<b>10</b>	Вынужденные колебания. Метод комплексных амплитуд.	10.1 10.3 10.6 10.20 10.19 10.39	10.16 10.41
24–30 нояб.	<b>11</b>	Модулированные колебания. Спектральный анализ в линейных системах. Параметрические колебания. Автоколебания.	11.2 11.3 11.6 11.10 11.11 11.35	11.24 11.37
1–7 декабря	<b>12</b>	Уравнения Максвелла. Ток смещения. Теорема Пойнтинга. Формулы Френеля.	8.51 12.4* 12.5* 12.8 12.27 02.2	12.9 12.29
8–14 декабря	<b>13</b>	Электромагнитные волны в волноводах. Резонаторы. Плазма.	12.43* 12.44* 12.46 12.48 12.55 12.57	12.51 12.68
15–28 дек.	Сдача 2-го задания, зачёт.			

## ПРИМЕЧАНИЯ:

1. Номера задач указаны по "Сборнику задач по общему курсу физики". Ч. 2. Под ред. В.А. Овчинкина – М.: Изд-во МФТИ, 1998 (2004).

2. При выполнении заданий предусмотрена следующая вариативность — в каждой теме семинара задачи разбиты на 3 группы:

**0** — задачи, которые студент должен самостоятельно решать в течение недели к каждому предстоящему семинару, где они при необходимости разбираются. Эти задачи должны быть аккуратно оформлены в тетради;

**1** — задачи, предлагаемые для обсуждения на семинаре. Это набор задач, раскрывающих тему семинара. Преподаватель по своему усмотрению выбирает из них необходимое число задач. Допустимо менять задачи на равноценные. Решения всех задач, разобранных на семинаре, студент должен иметь в своей тетради при сдаче задания;

**2** — задачи повышенного уровня студент решает дополнительно к основным задачам курса (с получением дополнительных зачётных единиц). Они также должны быть оформлены студентами в своих тетрадях.

В теме семинара 12 задача O2.2 — из раздела «Оптика».

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ К СЕМИНАРАМ** (задачи группы 0)

### Семинар 1

1. Используя формулу для напряжённости поля точечного диполя с дипольным моментом  $\vec{p}$ , найдите напряжённость поля на оси диполя ( $\varphi = 0$ ) и в перпендикулярном направлении  $\left(\varphi = \frac{\pi}{2}\right)$ .

Ответ:  $\vec{E}_1 = \frac{2\vec{p}}{r^3}$ ;  $\vec{E}_2 = -\frac{\vec{p}}{r^3}$ .

2. Сформулируйте теорему Гаусса. Найдите напряжённость поля равномерно заряженной пластины и равномерно заряженной сферы. Постройте графики  $E(r)$ .

3. Вычислите отношение силы электростатического отталкивания  $F_e$  двух протонов к силе их гравитационного притяжения  $F_q$ .  $e = 4,80 \cdot 10^{-10}$  ед. СГСЭ;  $m_p = 1,673 \cdot 10^{-24}$  г;  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>2</sup>/г<sup>2</sup> – гравитационная постоянная.

Ответ:  $\frac{F_e}{F_q} = \frac{e^2}{\gamma m_p^2} = 1,24 \cdot 10^{36}$ .

## Семинар 2

1. Незаряженный проводящий шар вносится в электрическое поле с известным распределением потенциала  $\varphi(\vec{r})$ . Каким будет потенциал шара?

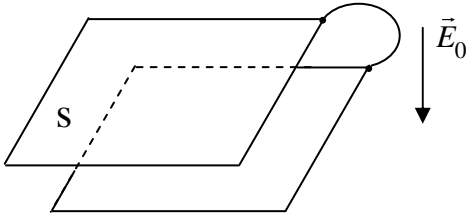
Ответ:  $\varphi_{\text{шара}} = \varphi(\vec{r}_0)$ , где  $\vec{r}_0$  – радиус-вектор центра шара.

2. В опытах Резерфорда золотая фольга бомбардировалась  $\alpha$ -частицами  ${}^2_4\text{He}$  с кинетической энергией  $W = 5$  МэВ. На какое минимальное расстояние может приблизиться  $\alpha$ -частица к ядру золота  ${}^{79}_{197}\text{Au}$ ?  $e = 4,80 \cdot 10^{-10}$  ед. СГСЭ;  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-12}$  эрг.

Ответ:  $r_{\min} = \frac{2 \cdot 79 \cdot e^2}{W} \left(1 + \frac{4}{197}\right) = 4,6 \cdot 10^{-12}$  см.

3. Напряжённость электрического поля Земли  $E_0 = 130$  В/м, причём вектор  $\vec{E}_0 \uparrow \uparrow \vec{g}$ . Какой заряд приобретёт





горизонтально расположенный короткозамкнутый плоский конденсатор с площадью пластин  $S = 1 \text{ м}^2$ ?

Ответ:

$$Q = \frac{SE_0}{4\pi} = 3,4 \text{ (ед. СГСЭ)}.$$

### Семинар 3

1. Проводящий шар радиуса  $R_0$  заряжен зарядом  $q$  и окружён шаровым слоем из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , вплотную примыкающим к поверхности проводящего шара. Внешний радиус шарового слоя равен  $R$ . Определите напряжённость электрического поля  $E$  и индукцию  $D$  в диэлектрике и вне его в функции расстояния  $r$  до центра шара. Определите также потенциал шара  $\varphi_{\text{ш}}$ .

$$\text{Ответ: при } R_0 \leq r < R \quad E = \frac{q}{\epsilon r^2}; \quad D = \frac{q}{r^2};$$

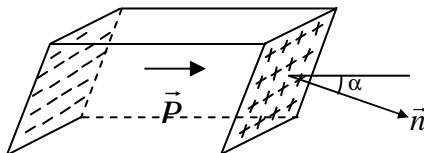
$$\text{при } r \geq R \quad E = D = \frac{q}{r^2};$$

$$\varphi_{\text{ш}} = \frac{q}{R} \left[ 1 + \frac{1}{\epsilon} \left( \frac{R - R_0}{R_0} \right) \right].$$

2. Определите плотность  $\sigma_{\text{пол}}$  поляризационных зарядов на внешней поверхности шарового слоя в предыдущей задаче.

$$\text{Ответ: } \sigma_{\text{пол}} = \frac{1}{4\pi} (E_2 - E_1) = \frac{q}{4\pi R^2} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}.$$

3. Найдите плотность поляризационных зарядов на торцах однородно поляризованного параллелепипеда (см. рис.).



Ответ:  $\sigma_{\text{пол}} = P_n = P \cos \alpha$ .

#### Семинар 4

1. Поверхностная плотность заряда на пластинах плоского конденсатора, заполненного диэлектриком с проницаемостью  $\epsilon$ , равна  $\sigma$ . Определите объёмную плотность  $w_{\text{э}}$  электрической энергии в конденсаторе.

Ответ:  $w_{\text{э}} = \frac{2\pi\sigma^2}{\epsilon}$ .

2. Плоский конденсатор заряжен до напряжения  $V$ . Расстояние между обкладками конденсатора равно  $d$ . Определите силу, действующую на единицу площади обкладок (поверхностная плотность силы).

Ответ:  $f = \frac{V^2}{8\pi d^2}$ .

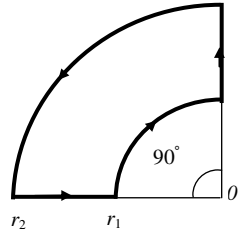
3. Сферический конденсатор ёмкостью  $C = 20$  см заполнен однородной слабо проводящей средой с проводимостью  $\lambda = 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Определите электрическое сопротивление между обкладками.

Ответ:  $R = \frac{1}{4\pi\lambda C} = 4 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ .

## Семинар 5

1. Проводящий контур, по которому течёт постоянный ток  $I$ , состоит из отрезков дуг и радиусов (см. рис.). Определите индукцию магнитного поля в точке  $O$ .

$$\text{Ответ: } B = \frac{\pi I}{2c} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$



2. Определите индукцию магнитного поля в центре крайнего витка длинного соленоида с плотностью намотки  $n$  витков/см. По виткам соленоида протекает постоянный ток  $I$ .

$$\text{Ответ: } B = \frac{2\pi}{c} \cdot n \cdot I.$$

3. Плоский конденсатор с обкладками в виде круглых дисков радиуса  $R$  заполнен немагнитной слабо проводящей средой. Через конденсатор протекает постоянный ток  $I$ . Найдите индукцию магнитного поля на расстоянии  $r \leq R$  от оси конденсатора.

$$\text{Ответ: } B = \frac{2I}{c} \cdot \frac{r}{R^2}.$$

## Семинар 6

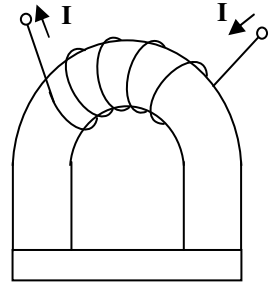
1. Длинный соленоид с плотностью намотки  $n$  витков/см заполнен диамагнитной средой с магнитной восприимчивостью  $\chi < 0$ . По виткам соленоида протекает ток  $I$ . Определите индукцию магнитного поля  $B_{\text{мол}}$ , создаваемую молекулярными токами. Как направлен  $\vec{B}_{\text{мол}}$  относительно вектора магнитной индукции  $\vec{B}_{\text{пров}}$ , создаваемой токами проводимости?

$$\text{Ответ: } B_{\text{мол}} = \frac{16\pi^2}{c} \cdot n \cdot I \cdot \chi; \quad \vec{B}_{\text{мол}} \updownarrow \vec{B}_{\text{пров}}.$$

2. Постоянный магнит длиной  $L$  с однородной намагниченностью  $I$  согнут в кольцо так, что между полюсами остался маленький зазор  $\ell \ll L$ . Определите магнитную индукцию в зазоре.

Ответ:  $B = 4\pi I \frac{L}{L + \ell} \approx 4\pi I$ .

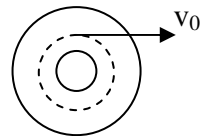
3. Подкова электромагнита из мягкого железа с магнитной проницаемостью  $\mu_1 \gg 1$  и имеет сечение  $S_1$ . Подкова замкнута перемычкой, имеющей сечение  $S_2$  и выполненной из магнитного материала с проницаемостью  $\mu_2 \gg 1$ . Пренебрегая рассеянием магнитного потока, определите отношения магнитных индукций  $\frac{B_1}{B_2}$  и напряжённостей магнитного поля  $\frac{H_1}{H_2}$  в подкове и перемычке.



Отвeт:  $\frac{B_1}{B_2} = \frac{S_2}{S_1}$ ;  $\frac{H_1}{H_2} = \frac{\mu_2 S_2}{\mu_1 S_1}$ .

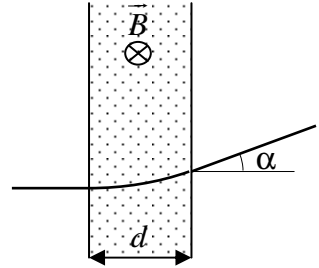
### Семинар 7

1. Протоны со скоростью  $v_0$  движутся по окружности в цилиндрическом конденсаторе. Во сколько раз нужно изменить разность потенциалов на конденсаторе, чтобы по той же окружности мог двигаться пучок  $\alpha$ -частиц с той же скоростью?



Отвeт: увеличить в 2 раза.

2. Протон влетает в область поперечного магнитного поля  $B = 5$  кГс со скоростью  $v = 0,96 \cdot 10^9$  см/с. Толщина области, занятой полем,  $d = 10$  см (см. рисунок). Найти угол отклонения протона  $\alpha$  от первоначального направления движения.



Ответ:

$$\sin \alpha = \frac{deB}{mvc} \approx 0,5 \quad (\alpha = 30^\circ).$$

3. Частица массой  $m$  и положительным зарядом  $q$  находится в однородных полях  $E$  и  $B$ , параллельных друг другу и направленных вдоль оси  $OX$ . В начальный момент частица находится в начале координат и ей сообщают скорость  $v_0$  вдоль оси  $OZ$ . Через время  $\tau$  частица оказывается на оси  $OX$ , при этом  $x = L$ . Чему равны поля  $E$  и  $B$ ?

$$\text{Ответ: } E = \frac{2mL}{q\tau^2}; \quad B = \frac{2\pi mc}{q\tau} \cdot n, \text{ где } n - \text{целое число.}$$

### Семинар 8

1. Напишите выражение для объёмной плотности энергии магнитного поля.

2. Задача 6.36

3. Найдите выражение для силы, действующей на сверхпроводящий шар радиуса  $R$ , находящийся на расстоянии  $r \gg R$  от прямого провода с током  $I$ .

$$\text{Ответ: } F_r = \frac{2I^2 R^3}{c^2 r^3} \text{ (отталкивание).}$$

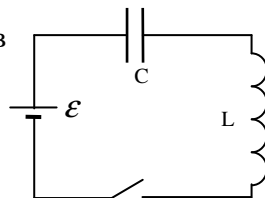
### Семинар 9

1. Задача 9.4.

2. Найти зависимости  $q(t)$  и  $I(t)$  в схеме на рисунке после замыкания ключа К.

Ответ:  $q(t) = C\varepsilon(1 - \cos \omega t)$ ;

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = C\varepsilon \omega \sin \omega t.$$



3. Задача 9.33.

### Семинар 10

1. Напряжение на некотором двухполюснике в цепи переменного тока описывается выражением  $v = V \sin(\omega t + \varphi)$ . Запишите комплексную амплитуду  $\bar{V}$  этого напряжения.

$$\text{Ответ: } \bar{V} = V \cdot e^{i\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)}.$$

2. К последовательно соединенным резистору с сопротивлением  $R = 3,2$  кОм и конденсатору ёмкостью  $C = 1$  мкФ приложено сетевое напряжение с частотой  $f = 50$  Гц. Найдите сдвиг фаз  $\Delta\varphi$  между напряжением в сети и напряжением на резисторе.

$$\text{Ответ: } \operatorname{tg} \Delta\varphi = -\frac{1}{\omega CR} = -1, \quad \Delta\varphi = -45^\circ.$$

3. Импеданс некоторого двухполюсника, включённого в цепь переменного тока, равен  $z = 3 + 1,73 \cdot i$  (Ом). Найдите отношение амплитуд напряжения и тока  $V/I$  на этом двухполюснике и фазовый сдвиг между ними.

$$\text{Ответ: } \frac{V}{I} = |z| = \sqrt{12} \text{ (Ом)}; \quad \operatorname{tg} \Delta\varphi = \frac{\sqrt{3}}{3}, \quad \Delta\varphi = 30^\circ.$$

## Семинар 11

1. Задача 11.1.

2. Оцените длительность  $\tau$  и ширину спектра  $\Delta f$  процесса  $f(t) = Ae^{-\delta t} \cos(\omega_0 t + \varphi)$  ( $A, \delta, \omega_0, \varphi$  – постоянные величины,  $\delta \gg \omega_0$ ).

Ответ:  $\tau \approx 1/\delta$ ,  $\Delta f \approx \delta$ .

3. Спектр сигнала  $f_0(t)$  равен  $F_0(\omega)$ . Найти спектры сигналов:

а)  $f(t) = f_0(t) \cdot \cos \omega_0 t$ ;

б)  $f(t) = f_0(t - \tau)$ .

Ответ: а)  $F(\omega) = \frac{1}{2} F_0(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} F_0(\omega + \omega_0)$ ;

б)  $F(\omega) = F_0(\omega) e^{-i\omega\tau}$ .

## Семинар 12

1. Напишите уравнения Максвелла, «отвечающие» за возникновение электромагнитных волн.

2. Напишите волновое уравнение. Какова связь между полями  $E_x$  и  $B_y$  в плоской электромагнитной волне:

а) бегущей в направлении оси  $z$ ;

б) бегущей навстречу оси  $z$ ?

3. Сформулируйте теорему Пойтинга.

## Семинар 13

1. Задача 12.40.

2. Показать, что если электрический потенциал вокруг точечного заряда  $q$  в плазме меняется по закону  $\varphi(r) = \frac{q}{r} e^{-r/r_D}$ , где  $r_D$  – дебаевский радиус плазмы, то распределение плотности электронов и ионов вследствие распределения Больцмана принимает такой вид, что потенциал и получившееся распределение плотности заряда удовлетворяют уравнению Пуассона (в таких случаях потенциал и распределения плотности называются самосогласованными, поскольку точечный заряд, электроны и ионы совместно как раз и создают этот потенциал  $\varphi(r)$ ). Отклонение плотности электронов и ионов от равновесного значения считать малым. Примечание: в сферически-симметричном случае  $\Delta\varphi(r) = \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} (r\varphi)$ .

3. Радиосигнал определённой частоты  $\nu$  посылается вверх и отражается от ионосферы на некоторой высоте. Определить концентрацию электронов в точке отражения.

Ответ:  $N = \frac{\pi n \nu^2}{e^2}$ .

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 1215 экз.