



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Сборник задач (упражнений)

по дисциплине
«Специальные главы физики»

«Теория электромагнитных и акустических волн»

Задания для аудиторных практических
занятий и самостоятельной работы
студентов

Автор
Ковалева В.С.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Цель сборника – обеспечение личностно-ориентированного подхода к практическим занятиям по специальным главам физики с учетом степени подготовки студентов и количества аудиторных часов, выделяемых на лекционные и практические занятия. Сборник предназначен для обучения и контроля работы студентов по направлению 09.03.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» на практических занятиях в течение семестра обучения.

Автор

Доцент В.С. Ковалева



Оглавление

Общие методические указания	4
Задачи	4
Темы контрольной работы по курсу «Специальные главы физики»	13
Используемая литература.....	13

Общие методические указания

При решении и оформлении задач необходимо соблюдать следующие требования:

1. Записать краткое условие задачи, выразить все известные величины в одной и той же системе единиц (как правило, в СИ). При необходимости ввести дополнительные постоянные физические величины.

2. Решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими объяснениями. При необходимости дать чертеж или график.

3. Решать задачу надо в общем виде, выразив искомую величину в буквенных обозначениях, заданных в условии задачи.

4. Произвести вычисления.

В течение семестра студенты выполняют две контрольные работы.

Результаты контроля аудиторной и самостоятельной работы студентов на практических занятиях учитываются лектором при приеме зачета.

Задачи

Основные формулы

- Связь периода T , частоты ν и циклической частоты ω колебаний

$$T = 1/\nu, \quad T = 2\pi/\omega, \quad \omega = 2\pi\nu$$

- Период электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

где L - индуктивность катушки, C - электроёмкость конденсатора.

- Зависимость заряда на пластинах конденсатора, разности потенциалов между ними и силы тока от времени в идеальном контуре:

$$q = q_m \cos(\omega t + \alpha)$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega t + \alpha) = U_m \cos(\omega t + \alpha)$$

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_m \omega \sin(\omega t + \alpha) = -I_m \sin(\omega t + \alpha)$$

где q_m - амплитуда заряда, $U_m = q_m / C$ - амплитуда напряжения, $I_m = q_m \omega$ - амплитуда силы тока, α - начальная фаза колебаний.

- Скорость электромагнитной волны в среде

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

где $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ - скорость электромагнитной волны в вакууме, ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, μ - магнитная проницаемость среды.

- Длина электромагнитной волны

$$\lambda = v \cdot T$$

- Связь диэлектрической проницаемости ϵ с диэлектрической восприимчивостью ϵ

$$\epsilon = 1 + \epsilon.$$

- Связь между напряженностью E поля в диэлектрике и напряженностью E_0 внешнего поля

$$E = \frac{E_0}{\epsilon}$$

- Связь между векторами электрического смещения и напряженности электростатического поля

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$$

- Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

где S - площадь пластины конденсатора; d - расстояние между пластинами.

- Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

где q - заряд конденсатора; C - его емкость; U - разность потенциалов между обкладками.

- Объемная плотность энергии электростатического поля

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2},$$

где D – электрическое смещение.

- Энергия магнитного поля контура с током

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

- Объемная плотность энергии магнитного поля

$$w = \frac{BH}{2} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu},$$

где B – магнитная индукция

- Плотность энергии электромагнитной волны равна сумме плотностей энергий электрического и магнитного полей

$$w = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu \mu_0 H^2}{2},$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная,
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная, E – напряжённость электрического поля, H – напряжённость магнитного поля.

- Связь между мгновенными значениями напряжённостей электрического и магнитного полей электромагнитной волны

$$\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H.$$

- Энергия, переносимая волной за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны,

$$S = w \cdot v = E \cdot H.$$

- Интенсивность волны

$$I = \langle S \rangle, \quad \langle S \rangle = \frac{1}{2} E_m H_m,$$

где E_m, H_m – амплитуды напряженности электрического и магнитного полей соответственно

- Импульс электромагнитного поля

$$p = \frac{W}{c},$$

где W - энергия электромагнитного поля, c - скорость электромагнитной волны в вакууме.

1. Каков период колебаний в открытом колебательном контуре, излучающем радиоволны с длиной волны 300 м? [1 мкс].

2. Радиостанция ведет передачу на частоте 75 МГц (УКВ). Найдите длину волны. [4 м].

3. В радиоприемнике один из коротковолновых диапазонов может принимать передачи, длина волны которых 24-26 м. Найдите частотный диапазон. [11,5 - 12,5 МГц].

4. В каком диапазоне длин волн работает приемник, если емкость конденсатора в его колебательном контуре можно плавно изменять от 200 до 1800 пФ, а индуктивность катушки постоянна и равна 60 мкГн? [206 – 619 м].

5. Ручной настройкой радиоприемника мы изменяем рабочую площадь пластин воздушного конденсатора переменной емкости в приемном колебательном контуре. Как изменяется рабочая площадь пластин при переходе на прием станции, ведущей передачу на более длинных волнах? [Увеличивается].

6. Что нужно для перехода к приему более коротких волн: сближать или раздвигать пластины конденсатора, включенного в колебательный контур приемника? [Раздвигать].

7. Катушка приемного контура радиоприемника имеет индуктивность 1 мкГн. Какова емкость конденсатора, если идет прием станции, работающей на длине волны 1000 м? [0,28 мкФ].

8. Радиоприемник настроен на радиостанцию, работающую на длине волны 25 м. Во сколько раз нужно изменить емкость приемного колебательного контура радиоприемника, чтобы настроиться на длину волны 31 м? [1,54].

9. Электромагнитная волна с частотой 5 МГц переходит из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью 2 в вакуум. Определите приращение её длины волны. [17,6 м].

10. После того как между внутренним и внешним проводниками кабеля поместили диэлектрик, скорость распространения электромагнитных волн в кабеле уменьшилась на 63%. Определите диэлектрическую восприимчивость вещества прослойки. [6,3].

11. Определите длину электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, если максимальный

заряд на обкладках конденсатора 50 нКл, а максимальная сила тока в контуре 1,5 А. Активным сопротивлением контура пренебречь. [62,8 м].

12. Длина электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, равна 12 м. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определите максимальный заряд на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока в контуре 1 А. [6,37 нКл].

13. СВЧ- генератор излучает в положительном направлении оси X плоские электромагнитные волны, которые затем отражаются обратно. Точки М1 и М2 соответствуют положениям двух соседних минимумов интенсивности и отстоят друг от друга на расстоянии 5 см. Определите частоту микроволнового генератора. [3 ГГц].

14. Скорость распространения электромагнитных волн в некоторой среде составляет 250 Мм/с. Определить длину волны электромагнитных волн в этой среде, если их частота в вакууме 1 МГц. [250 м].

15. Для демонстрации преломления электромагнитных волн Герц применял призму, изготовленную из парафина. Определить показатель преломления парафина, если его диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 2$ в вакууме и магнитная проницаемость $\mu = 1$. [1,41].

16. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью 0,5 мФ и катушку индуктивностью 0,4 мГн. Определить длину волны излучения, генерируемого контуром. [843 м].

17. При изменении силы тока в катушке индуктивности на $\Delta I = 1 \text{ А}$ за время $\Delta t = 0,6 \text{ с}$ в ней индуцируется ЭДС, равная 0,2 мВ. Какую длину волны будет иметь радиоволна, излучаемая генератором, колебательный контур которого состоит из этой катушки и конденсатора емкостью 14,1 нФ? [2450 м].

18. Сила тока в открытом колебательном контуре изменяется в зависимости от времени по закону: $i = 0,1 \cos 6 \times 10^5 \pi t$. Найти длину излучаемой волны. [1000 м].

19. Определить длину электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, если максимальный заряд конденсатора 20 нКл, а максимальная сила тока в контуре 1 А. [38 м].

20. Сколько колебаний происходит в электромагнитной волне с длиной волны 300 м за время, равное периоду звуковых

колебаний с частотой 2000 Гц? [500].

21. Конденсатор колебательного контура приемника имеет емкость C . На какую длину волны резонирует контур приемника, если отношение максимального напряжения на контуре с макси-

мальной силе тока в катушке контура при резонансе равно $\frac{m}{n}$.

$$\left[\frac{2\pi\tilde{N}m}{n} \right].$$

22. Приемный контур состоит из катушки индуктивностью 2 мкГн и из конденсатора емкостью 1800 пФ. На какую длину волны рассчитан контур? [113,1 м].

23. Какова должна быть емкость конденсатора, чтобы с катушкой индуктивностью 25 мкГн, обеспечить настройку в резонанс на длину волны 100 м? [112,6 пФ].

24. Длина воздушной линии передачи 300 км. Частота напряжения 50 Гц. Найти сдвиг по фазе напряжения в начале и конце этой линии. [На $0,05T$ или $0,1\pi$ рад].

25. Радиолокатор обнаружил в море подводную лодку, отражённый сигнал от которой дошёл до места излучения за 36 мкс. Определите расстояние от локатора до лодки, считая, что диэлектрическая проницаемость воды равна 81. [600 м].

26. Наибольшее расстояние от Земли до Сатурна 1,2 Тм. Через какой минимальный промежуток времени может быть получена ответная информация с космического корабля, находящегося в районе Сатурна, на радиосигнал, посланный с Земли? [Через 2ч 13 мин 20 с].

27. Ретранслятор телевизионной программы «Орбита» установлен на спутнике связи «Радуга», который движется по круговой орбите на высоте 36000 км над поверхностью Земли, занимая постоянное положение относительно Земли. Сколько времени распространяется сигнал от передающей станции до телевизоров системы «Орбита»? [0,24 с].

28. На каком расстоянии от антенны радиолокатора находится объект, если отраженный от него радиосигнал возвратился обратно через 200 мкс? [30 км].

29. Мощность импульса радиолокационной станции 100 кВт. Найти максимальную напряженность электрического поля волны в точке, где площадь поперечного сечения конуса излучения равна $2,3 \text{ км}^2$. [4 В/м].

30. Каким может быть максимальное число импульсов, по-

сылаемых радиолокатором за 1 с, при разведывании цели, находящейся на расстоянии 30 км от него? [5000].

31. Радиолокатор работает на волне 15 см и дает 4000 импульсов в 1 с. Длительность каждого импульса 2 мкс. Сколько колебаний содержится в каждом импульсе и какова глубина разведки локатора? [4000; 3705 км].

32. Время горизонтальной развертки электронно-лучевой трубки радиолокатора 2 мс. Найти наибольшую глубину разведки. [300 км].

33. Радиолокатор работает в импульсном режиме. Частота повторения импульсов равна 1700 Гц, а длительность импульса - 0,8 мкс. Найти наибольшую и наименьшую дальность обнаружения цели данным радиолокатором. [120 м; 90 км].

34. На расстоянии 300 м от Останкинской телебашни плотность потока излучения максимальна и равна 40 мВт/м^2 . Какова плотность потока излучения на расстоянии уверенного приема, равном 120 км? [$0,25 \text{ мкВт/м}^2$].

35. Плотность энергии электромагнитной волны равна $4 \times 10^{-11} \text{ Дж/л}^3$. Найти плотность потока излучения. [12 мкВт/м^2].

36. Плотность потока излучения равна 6 мВт/м^2 . Найти плотность энергии электромагнитной волны. [$2 \times 10^{-11} \text{ Дж/л}^3$].

37. Максимальная напряженность электрического поля электромагнитной волны по санитарным нормам не должна превышать 5 В/м. Найти допустимую плотность потока электромагнитного излучения. [66 мкВт/м^2].

38. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Средняя энергия, переносимая через единицу площади поверхности за единицу времени (интенсивность) равна $21,2 \text{ мкВт/м}^2$. Определите амплитудное значение напряженности электрического поля волны. [126 В/м].

39. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны составляет 18,8 В/м. Определить интенсивность волны, т.е. среднюю энергию, приходящуюся за единицу времени на единицу площади, расположенной перпендикулярно направлению распространения волны. [$0,47 \text{ Вт/м}^2$].

40. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Определите амплитуду напряженности маг-

нитного поля волны, если амплитуда напряжённости электрического поля равна 10 В/м. [26,5мА/м].

41. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны равна 1 мА/м. Определить амплитуду напряжённости электрического поля волны. [0,377 В/м].

42. Плоская монохроматическая электромагнитная волна распространяется вдоль оси X. Амплитуда напряженности электрического поля волны равна 5 мВ/м, амплитуда напряженности магнитного поля волны 1 мА/м. Определить энергию, перенесенную волной за время 10 мин через площадку, расположенную перпендикулярно оси X, площадью поверхности 15 см². Период волны $\dot{O} \ll t$. [2,25 мкДж].

43. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны равна 5 мА/м. Определить интенсивность волны. [4,71 мВт/м²].

44. Почему увеличение дальности радиосвязи с космическими кораблями в два раза требует увеличения мощности передатчика в четыре раза? Почему увеличение дальности радиолокации в два раза требует увеличения мощности передатчика в 16 раз? Считать, что излучатель радиоволн точечный, а поглощение энергии средой пренебрежимо мало.

45. Выведите связь между групповой и фазовой скоростями.

46. Определите групповую скорость для частоты 800 Гц, ес-

ли фазовая скорость задается выражением $\frac{\alpha_0}{\sqrt{v + \hat{a}}}$, где

$$\alpha_0 = 24i * \tilde{n}^{-3/2}, \hat{a} = 100 \text{ Гц. [0,55 м/с].}$$

47. Два динамика расположены на расстоянии 0,5 м друг от друга и воспроизводят один и тот же музыкальный тон на частоте 1500 Гц. Приемник находится на расстоянии 4 м от центра динамиков. Принимая скорость звука 340 м/с, определите, на какое расстояние от центральной линии параллельно динамикам надо отодвинуть приемник, чтобы он зафиксировал первый интерференционный минимум. [90,7 см].

48. СВЧ- генератор излучает в положительном направлении оси X плоские электромагнитные волны, которые затем отражаются обратно. Точки М1 и М2 соответствуют положениям двух соседних минимумов интенсивности и отстоят друг от друга на расстоянии 5 см. Определите частоту микроволнового генератора.

[3 ГГц].

49. Человеческое ухо может воспринимать звуки, соответствующие граничным частотам 16 Гц и 20 кГц. Принимая скорость звука в воздухе равной 343 м/с, определите область слышимости звуковых волн. [17-21,4м].

50. Определите интенсивность звука ($\text{Вт}/\text{м}^2$), уровень интенсивности которого составляет 67 дБ. Интенсивность звука на пороге слышимости равен $10\text{-}12\text{Вт}/\text{м}^2$. [$5,01\text{ мкВт}/\text{м}^2$].

51. Средняя квадратичная скорость молекул двухатомного газа при некоторых условиях составляет 480 м/с. Определите скорость распространения звука в газе при тех же условиях. [328 м/с].

52. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальном давлении равна $1,78\text{ кг}/\text{м}^3$. Определите скорость распространения звука в газе при этих условиях. [282 м/с].

53. Движущийся по реке теплоход дает свисток частотой 400 Гц. Наблюдатель, стоящий на берегу, воспринимает звук свистка частотой 395 Гц. Принимая скорость звука 340 м/с, определите скорость движения теплохода. Приближается или удаляется теплоход? [4,3 м/с, теплоход удаляется].

54. Электропоезд проходит со скоростью 72 км/ч мимо неподвижного приемника и дает гудок, частота которого 300 Гц. Принимая скорость звука равной 340 м/с, определите скачок частоты, воспринимаемый приемником. [$\Delta\nu = 35,4\text{ Гц}$].

55. Поезд проходит со скоростью 54 км/ч мимо неподвижного приемника и подает звуковой сигнал. Приемник воспринимает скачок частотой $\Delta\nu = 53\text{ Гц}$. Принимая скорость звука равной 340 м/с, определите частоту тона звукового сигнала гудка поезда. [599 Гц].

56. В однородной и изотропной среде $\epsilon = 1$ и $\mu = 1$ распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_0 = 10\text{ В}/\text{м}$. Найти амплитуду напряженности магнитного поля волны и скорость распространения волны.

57. Написать уравнение плоской электромагнитной волны в вакууме, если при прохождении этой волны в стекле на расстоянии 200 нм фаза колебаний изменилась на величину $3\pi/2$ и приняла значение $\varphi = \pi/4$.

58. В среде с параметрами $n = 1,71$ и $\mu = 1$ распространяется электромагнитная волна с амплитудой $E_0 = 200\text{ В}/\text{м}$ и частотой $\omega = 1,5 \cdot 10^8\text{ Гц}$. Найти модуль вектора \mathbf{H} в точке с координатой $x =$

5 м в момент времени 40 нс.

59. Электромагнитная волна распространяется в немагнитной среде. Отношение векторов напряженностей электрического и магнитного полей в этой среде равно 251.2 В/А. Фаза колебаний в волне на расстоянии 100 нм изменяется на величину $\Delta\varphi = \pi/2$. Определить частоту электромагнитной волны.

60. В однородной и изотропной среде $\epsilon = 3.5$ и $\mu = 2$ распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны $H_0 = 250$ А/м. Найти амплитуду напряженности электрического поля волны и скорость распространения волны.

При проведении контрольных работ на рейтинговых неделях студентам индивидуально предлагаются варианты для решения задач контрольной работы, приведенные в таблице ниже.

Темы контрольной работы по курсу «Специальные главы физики»

Вариант	Номер задачи					
0	1	20	21	31	41	51
1	2	19	22	32	42	52
2	3	18	23	33	43	53
3	4	17	24	34	44	54
4	5	16	25	35	45	55
5	6	15	26	36	46	56
6	7	14	27	37	47	57
7	8	13	28	38	48	58
8	9	12	29	39	49	59
9	10	11	30	40	50	60

Используемая литература

1. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. доп. и перераб. – СПб.: Изд-во «Специальная литература»; Изд-во «Лань», 1999. – 328 с.

2. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов. – 3-е изд.- М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»»; ООО «Издательство «Мир и Образование»», 2003.-384 с.

3. Крауфорд Ф. Волны. Издательство «Наука», Москва, 2011.