Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра общей и теоретической физики

Т.О. Миронова, Ю.Б. Пейсахов, Т.П. Привалова

ФИЗИКА

Руководство по изучению курса физики

Программа курса физики, варианты и задачи контрольных работ, материалы для лабораторных работ и отчетов

Челябинск
ЮУрГУ
2017

Одобрено
научно-методическим советом университета

Физика. Руководство по изучению курса физики: учебное пособие для студентов вузов заочной формы обучения / Т.О. Миронова, Ю.Б. Пейсахов, Т.П. Привалова. – Челябинск: ЮУрГУ, 2017. – 125 с.

Основное назначение учебного пособия – оказать помощь по изучению курса общей физики студентам заочной формы обучения. Учебное пособие является руководством в организации их работы в течение двух семестров. В пособии даны программные вопросы по курсу физики, варианты и задачи контрольных работ, изложены требования к выполнению контрольных работ и оформлению решений задач, а также содержатся методические материалы для выполнения лабораторных работ и по оформлению отчетов.

Учебное издание предназначено для студентов, обучающихся по укрупненным группам специальностей и направлений подготовки в области образования «инженерное дело, технологии и технические науки».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение …….....6

Часть I

МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

(3-й семестр обучения)

1.1. Программные (экзаменационные) вопросы ..……8
1.2. Типовые задачи (экзаменационные) ..……..12
1.3. Установочные лекции ..…….. ..……25
1.4. Самостоятельная работа студентов (СРС) ……...25
1.5. Требования к оформлению решения задач контрольной работы 26
1.6. Рекомендации к решению физических задач .....……26
1.7. Рекомендации по выполнению расчетов при решении задач ……28
1.8. Пример решения и оформления задачи контрольной работы ……30
1.9. Библиографический список …….……..32

2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

2.1. Таблица вариантов контрольной работы №1 .……33
2.2. Задачи контрольной работы №1 ….……..…33

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО МЕХАНИКЕ, МФ и ТД

3.1. Введение в лабораторный практикум по физике ….……41

3.1.1. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ….……...41

Результат измерения и погрешности ……41
Систематические и случайные погрешности ……..41
Приборная погрешность ……42
Вычисления и запись результата ……..43
Представление результатов измерений в виде таблиц ……44

3.1.2. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Построение графиков ……45
Графический анализ опытных данных ……46
Определение параметров линейной зависимости ……..46
3.2. Темы лабораторных работ ……48
3.3. Подготовка к выполнению лабораторных работ ……..48
3.3.1. Рекомендации к выполнению лабораторных работ ……49
3.3.2. Рекомендации к оформлению отчета по лабораторной работе …..49
3.3.3. Бланки отчетов по лабораторным работам ……..50

Часть II
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА. ФИЗИКА АТОМА И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

(4-й семестр обучения)

4.1. Программные (экзаменационные) вопросы ..……63
4.2. Типовые задачи (экзаменационные) ..……..67
4.3. Установочные лекции ……81
4.4. Самостоятельная работа студентов ……82
4.5. Библиографический список ……..82

5. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

5.1. Таблица вариантов контрольной работы № 2 ..……83
5.2. Рекомендации к решению задач по разделу «Электромагнетизм» …84
5.3. Задачи контрольной работы № 2 ...……84

6. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

6.1. Таблица вариантов контрольной работы № 3 ……92
6.2. Рекомендации к решению задач по разделу «Оптика» ...……92
6.3. Рекомендации к решению задач по разделу «Атомная и ядерная физика» ....……93
6.4. Задачи контрольной работы № 3 ……... 94

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ

7.1. Темы лабораторных работ ...……100
7.2. Подготовка к выполнению лабораторных работ ..……100
7.3. Бланки отчетов по лабораторным работам ..……101

8. ПРИЛОЖЕНИЕ 1

8.1. О приближенных вычислениях ..……113
8.2. Некоторые формулы алгебры и тригонометрии ..……113
8.3. Основные формулы дифференцирования и интегрирования ...…..113
8.4. Формулы приближенных вычислений ..……114
8.5. Единицы физических величин в СИ ..……115
8.6. Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц ....……118

9. ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ТАБЛИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (справочные)

СОДЕРЖАНИЕ

1. Некоторые астрономические величины ……....119
2. Плотность ρ твердых тел ……...119
3. Плотность ρ жидкостей ……120

4. Плотность ρ газов при нормальных условиях ……120
5. Поверхностное натяжение σ жидкостей при температуре 20 °C ..…120
6. Эффективный диаметр d молекулы ……120
7. Теплоемкость c и теплота фазовых переходов воды и льда …….120
8. Диэлектрическая проницаемость ε ……120
9. Удельное сопротивление ρ металлов ……..121
10. Подвижность ионов в газах, $10^{-4}\ \frac{\text{м}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ ……121
11. Показатель преломления n ..……121
12. Работа выхода A электронов из металла …….122
13. Относительная атомная масса A и порядковый номер Z некоторых элементов ……..122
14. Масса m нейтральных атомов ……..123
15. Период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивных изотопов ……..123
16. Масса m_0 и энергия покоя E_0 некоторых частиц ...……124
17. Основные физические постоянные (округленные значения) ……125

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания адресованы студентам заочного факультета (ЗИЭФ) политехнического института ЮУрГУ для организации работы по изучению курса общей физики.

Курс физики составляет основу теоретической подготовки бакалавров и инженеров и является фундаментальной физико-математической базой, необходимой для успешной деятельности инженера любого профиля.

В результате изучения курса физики студент обязан:

– изучить основные физические явления;

– овладеть понятиями, законами и теориями классической и современной физики;

– овладеть методами физического исследования;

– уметь применять достижения физики в практической деятельности;

– ознакомиться с современной научной аппаратурой;

– приобрести навыки проведения физического эксперимента и умение применять физические законы в прикладных задачах выбранной специальности.

Дисциплина «физика» изучается в течение двух семестров: в 3-м семестре – часть I, в 4-м семестре – часть II. С целью проверки усвоения материала студентами, в каждом семестре применяются следующие виды контроля:

– выполнение двух контрольных работ;

– выполнение лабораторных работ (ЛР) и защита отчетов по ним.

Все виды контроля представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ части курса	Виды контроля		
	текущий	Промежу-точный	итоговый
Часть I. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электростатика. Постоянный электрический ток	КР №1 СРС, ВЛР	Зачет по ЛР	экзамен
Часть II. Электромагнетизм. Оптика. Элементы квантовой и атомной физики	КР №2, №3, СРС, ВЛР	Зачет по ЛР	экзамен

Примечание: КР – контрольная работа, СРС – самостоятельная работа студентов, ВЛР – выполнение лабораторных работ.

К экзамену ***допускаются только студенты***, имеющие
1) зачет по ЛР в зачетной книжке,
2) контрольные работы, *проверенные и зачтенные*.

Студенты ЗИЭФ начинают изучать физику в третьем семестре. Приведем несколько советов по правилам выполнения и оформления контрольных работ (КР) по курсу физики.

С первых дней учебного семестра приступайте к решению задач своей контрольной работы. Необходимый для этого материал представлен ***на сайте ЗИЭФ*** по адресу http://zief.susu.ac.ru., а также в учебниках и в учебных пособиях. Сдавать КР необходимо в течение семестра, не позднее одной недели до начала сессии. На титульном листе КР проставляйте номер своего шифра, определяющий номер варианта КР. В конце каждой КР приводите перечень используемой литературы: учебной и методической, – после этого поставьте дату и свою подпись.

Возвращенную *не зачтенную КР* исправляйте *в этой же тетради* на оставшихся чистых листах, начиная с заголовка *«Работа над ошибками»*. Отнеситесь к исправлениям серьезно, учитывая все замечания и вопросы, поставленные рецензентом. Обязательно указывайте номер исправленной задачи, не приводя повторно ее текста.

Тетрадь с зачтенной контрольной работой необходимо принести на экзамен.

ЧАСТЬ I

МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Состав дисциплины: лекции 12 ч, практические занятия 6 ч, лабораторные занятия 10 ч, экзамен по курсу физики.

1.1. Программные (экзаменационные) вопросы

1. Механическое движение. Поступательное движение: траектория; кинематические параметры – радиус-вектор, перемещение, путь, средняя и мгновенная скорость.

2. Мгновенное ускорение точки. Разложение полного ускорения на нормальное и тангенциальное. Классификация видов движения.

3. Кинематические уравнения поступательного движения.

4. Вращательное движение. Кинематические параметры: угловой путь, угловая скорость, угловое ускорение. Связь линейных и угловых кинематических параметров.

5. Кинематические уравнения вращательного движения.

6. Динамика поступательного движения. Понятия массы, силы, импульса тела, импульса силы. Взаимодействие тел: виды сил в механике.

7. Инерциальные системы отсчета (ИСО). Принцип относительности Галилея и его следствия.

8. Законы Ньютона. Основное уравнение динамики поступательного движения.

9. Закон сохранения импульса (ЗСИ). Явления отдачи.

10. Момент силы, момент инерции тела, момент импульса тела. Закон динамики вращательного движения.

11. Закон сохранения момента импульса (ЗСМИ). Примеры проявления и использования ЗСМИ.

12. Работа силы и момента силы. Мощность.

13. Понятие механической энергии. Кинетическая энергия тела при поступательном и вращательном движении.

14. Понятие потенциальной энергии. Градиент потенциальной энергии. Примеры вычисления потенциальной энергии.

15. Закон сохранения механической энергии (ЗСМЭ).

16. Применение законов сохранения импульса и механической энергии для упругого центрального удара шаров.

17. Применение законов сохранения импульса и механической энергии для неупругого удара тел. КПД при неупругом ударе.

18. Неинерциальные системы отсчета (НИСО). Силы инерции при поступательном движении.

19. Центробежная сила инерции. Сила Кориолиса. Применение сил инерции (опыт Фуко, сепаратор, закон Бэра и др.). Свойства сил инерции. Принцип эквивалентности (сил инерции и гравитационных).

20. Свободные механические колебания. Дифференциальное уравнение, закон колебаний. Пружинный, математический и физический маятник, период колебаний.

21. Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты.

22. Кинетическая, потенциальная и полная энергия гармонического колебания.

23. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение, закон колебаний. Логарифмический декремент затуханий.

24. Вынужденные колебания. Механический резонанс.

25. Специальная теория относительности (СТО). Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Относительность времени и масштабов в СТО. Релятивистский закон сложения скоростей.

26. Масса, импульс и энергия свободного тела в СТО. Взаимосвязь массы и энергии покоя.

27. Идеальный газ. Уравнение Клапейрона – Менделеева. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) газов. Молекулярно-кинетическое толкование температуры. Средняя квадратичная скорость.

28. Понятие вероятности, функция распределения $f(v)$. Распределение молекул по скоростям – распределение Максвелла. Наиболее вероятная скорость молекул.

29. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.

30. Явления переноса. Среднее число соударений и средняя длина свободного пробега молекулы.

31. Диффузия в газе, закон Фика, коэффициент диффузии. Объяснение диффузии молекулярно-кинетической теорией.

32. Внутреннее трение (вязкость) в газе, закон Ньютона, коэффициент вязкости. Объяснение вязкости молекулярно-кинетической теорией.

33. Молекулярная теплопроводность в газе, закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Объяснение теплопроводности в рамках МКТ.

34. Понятие степеней свободы молекулы. Теорема о равномерном распределении энергии молекулы по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

35. Термодинамические понятия – теплота и работа газа. Количество теплоты. Молярная и удельная теплоемкости газа.

36. Вычисление работы идеального газа в различных изопроцессах.

37. Первое начало термодинамики. Применение первого начала к изопроцессам: изохорному, изобарному, изотермическому и адиабатному процессу.

38. Вычисление молярной теплоемкости газа в изохорном и изобарном процессах. Теорема Майера.

39. Адиабатный процесс. Уравнение Пуассона.

40. Идеальная тепловая машина Карно. Цикл Карно и его КПД.

41. Тепловая машина. Второе начало термодинамики и его различные формулировки.

42. Понятие энтропии. Неравенство Клаузиуса. Второе начало термодинамики, как закон возрастания энтропии.

43. Вычисление приращения энтропии в изопроцессах.

44. Статистический смысл энтропии. Формула Больцмана.

45. Реальный газ. Причины непригодности уравнения Клапейрона – Менделеева. Уравнение состояния реального газа – уравнение Ван-дер-Ваальса.

46. Теоретические и экспериментальные изотермы реального газа. Метастабильные состояния.

47. Электрический заряд, его свойства. Законы сохранения и квантования заряда. Взаимодействие зарядов. Закон Кулона. Характеристики неточечных зарядов.

48. Электростатическое поле (ЭСП), его характеристики – напряженность, индукция и потенциал. Графическое изображение полей. Поле точечного заряда. Сложение электрических полей.

49. Методы вычисления напряженности. Применение принципа суперпозиции для расчета ЭСП, создаваемых неточечными зарядами.

50. Поток напряженности электрического поля. Теорема Остроградского – Гаусса. Примеры применения теоремы Гаусса для расчета электростатических полей.

51. Работа сил электростатического поля по перемещению точечного заряда. Потенциальность электростатического поля. Циркуляция вектора напряженности. Выражение работы через разность потенциалов.

52. Связь между напряженностью электростатического поля и потенциалом. Градиент потенциала. Вычисление потенциала ЭСП, создаваемых неточечными зарядами.

53. Микроскопическое строение диэлектриков. Жесткий и мягкий диполь в однородном и неоднородном электростатическом поле.

54. Поляризация диэлектрика. Вектор поляризации, диэлектрическая восприимчивость. Поверхностные связанные заряды.

55. Электрическое поле в диэлектрике. Физический смысл относительной диэлектрической проницаемости. Связь векторов поляризации, напряженности и индукции.

56. Сегнетоэлектрики, диэлектрический гистерезис, домены. Пьезоэлектрический эффект.

57. Проводники. Условия равновесия зарядов в проводнике. Распределение избыточных зарядов на поверхности проводника.

58. Проводники во внешнем электростатическом поле. Возникновение наведенного заряда на поверхности проводника.

59. Электроемкость проводника. Емкость шара. Емкость конденсатора, системы конденсаторов.

60. Энергия системы точечных зарядов. Энергия заряженного проводника и конденсатора. Энергия ЭП. Плотность энергии ЭП.

61. Постоянный электрический ток. Основные понятия: сила тока, ЭДС, напряжение, разность потенциалов, сопротивление проводников и полупроводников.

62. Закон Ома в интегральной форме для однородного и неоднородного участка цепи и для замкнутой цепи. Закон Ома в дифференциальной форме.

63. Работа постоянного тока в проводнике. Мощность. КПД источника тока в электрической цепи. Закон Джоуля – Ленца в интегральной и дифференциальной форме.

64. Классическая электронная теория электропроводности. Вывод закона Ома в дифференциальной форме и закона Джоуля – Ленца. Недостатки классической теории.

65. Правила Кирхгофа. Их применение для расчета сопротивления цепи при параллельном и последовательном соединении проводников.

1.2. Типовые задачи (экзаменационные)

Кинематика поступательного и вращательного движения

1. С башни высотой $H = 25$ м брошен камень с горизонтально направленной скоростью $v_0 = 15\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите: 1) время t движения камня; 2) скорость v, с которой камень упадет на землю; 3) нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение камня в точке его падения на землю. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

2. Тело брошено с начальной скоростью $v_0 = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ под углом $\alpha = 30^{\text{o}}$ к горизонту. Определите в начальной точке нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение тела. Найдите радиус кривизны траектории R в точке максимального подъема тела. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

3. Материальная точка движется по окружности радиусом $R = 10$ см. Зависимость пути от времени задана уравнением $s = Ct^3$, где $C = 0{,}10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^3}$. Определите нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение точки в момент времени, когда линейная скорость точки $v = 0{,}30\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

4. Колесо радиусом $R = 0{,}10$ м вращается так, что зависимость угла поворота колеса от времени дается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $B = 2{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $C = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. В момент времени $t = 2{,}0$ с после начала движения для точек на ободе колеса определите: 1) угловую скорость ω; 2) угловое ускорение ε; 3) нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение.

Динамика поступательного и вращательного движения

5. Маховик в форме диска радиусом $R = 0{,}40$ м с моментом инерции $I = 160\ \text{кг} \cdot \text{м}^2$, вращается с угловой скоростью $\omega = 40\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Определите массу маховика m, тормозящий момент сил M, под действием которого маховик остановился через $t = 20$ с, и число оборотов N, которое совершил маховик до остановки.

6. Две гири массой $m_1 = 4{,}0$ кг и $m_2 = 2{,}0$ кг соединены нитью, перекинутой через блок массой $m = 3{,}0$ кг. Определите: 1) ускорение $\vec{a}$, с которым движутся гири; 2) натяжения T_1 и T_2 нитей, к которым подвешены гири; 3) кинетическую энергию гирь $E_{\text{К}}$ через $t = 3{,}0$ с. Блок считайте однородным диском. Трением при вращении блока можно пренебречь.

7. Блок массой $m = 1{,}0$ кг укреплен на конце стола и может вращаться без трения. Гири 1 и 2 одинаковой массы $m_1 = m_2 = 1{,}0$ кг соединены нитью, перекинутой через блок. Гиря 2 находится на поверхности стола, а

гиря 1 свешивается со стола. Коэффициент трения гири 2 о стол $k = 0{,}10$. Найдите ускорение a, с которым движутся гири, и силы натяжения нитей T_1 и T_2. Блок считайте однородным диском.

8. На вал радиусом $R = 0{,}50$ м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m = 10$ кг. Определите момент инерции вала I, если известно, что груз опускается с ускорением $a = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

9. На вал радиусом $R = 0{,}20$ м с моментом инерции $I = 0{,}10\ \text{кг} \cdot \text{м}^2$, намотан шнур, к которому привязан груз массой $m_1 = 0{,}50$ кг. До начала вращения вала высота груза над полом $h = 1{,}0$ м. Определите: 1) ускорение груза a; 2) время t, за которое груз опустится до пола; 3) кинетическую энергию груза $E_{\text{К}}$ в момент удара о пол. Трением при вращении можно пренебречь.

Законы сохранения: ЗСИ и ЗСМЭ

10. Определите КПД η неупругого удара бойка массой $m_1 = 500$ кг, падающего на сваю массой $m_2 = 120$ кг. Полезной считайте энергию, пошедшую на вбивание сваи.

11. Шар массой $m_1 = 4{,}0$ кг движется со скоростью $v_1 = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и сталкивается с шаром массой $m_2 = 6{,}0$ кг, который движется ему навстречу со скоростью $v_2 = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Считая удар прямым и центральным, а шары абсолютно упругими, найдите их скорости u_1 и u_2 после удара.

12. Орудие, закрепленное на железнодорожной платформе, производит выстрел вдоль полотна железной дороги под углом $\alpha = 30^{\circ}$ к линии горизонта. Определите скорость u_2 отката платформы, если снаряд вылетает со скоростью $u_1 = 450\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Масса платформы с орудием и снарядами $m_2 = 18 \cdot 10^3$ кг, масса снаряда $m_1 = 60$ кг.

13. Шарик массой $m = 0{,}020$ кг, движущийся со скоростью $v = 8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ под углом $\alpha = 60^{\circ}$ к плоскости стенки, упруго ударяется о стенку. Определите импульс $\vec{p}$, полученный стенкой при ударе шарика.

14. Снаряд массой m, летевший со скоростью $v = 400\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого $m_1 = 0{,}4m$, полетел в противоположном направлении со скоростью $u_1 = 150\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите скорость u_2 большего осколка.

15. В деревянный шар массой $m_1 = 8{,}0$ кг, подвешенный на нити длиной $l = 1{,}8$ м, попадает горизонтально летящая пуля массой $m_2 = 4{,}0$ г. С какой скоростью v_2 летела пуля, если нить с шаром и застрявшей в нем пулей отклонилась от вертикали на угол $\alpha = 3{,}0^{\circ}$? Размером шара можно пренебречь. Удар пули считайте прямым и центральным.

16. По небольшому куску мягкого железа, лежащему на наковальне массой $m_1 = 300$ кг, ударяет молот массой $m_2 = 8{,}0$ кг. Определите КПД удара η, если удар неупругий. Полезной считайте энергию, пошедшую на деформацию куска железа.

17. Шар массой $m_1 = 3{,}0$ кг движется со скоростью $v_1 = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и соударяется с покоящимся шаром массой $m_1 = 5{,}0$ кг. Какая работа совершается при деформации шаров? Удар считайте абсолютно неупругим, прямым и центральным.

18. Конькобежец массой $m_1 = 70$ кг, стоя на коньках на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой $m_2 = 3{,}0$ кг со скоростью $v_2 = 8{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите скорость v_1 конькобежца после броска, работу A, совершенную им при броске, и расстояние s, на которое он откатился, если коэффициент трения коньков о лед $\mu = 0{,}010$.

19. Вентилятор вращается с частотой $n = 960\ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. После выключения мотора вентилятор, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки $N = 75$ об. Работа сил торможения $A = 48$ Дж. Определите: 1) угловое ускорение вентилятора ε; 2) момент силы торможения M и 3) момент инерции вентилятора I.

20. С какой наименьшей высоты H должен съехать велосипедист, чтобы по инерции (без трения) проехать дорожку, имеющую форму «мертвой петли» радиусом $R = 2{,}5$ м, и не оторваться от дорожки в верхней точке петли? Масса велосипедиста вместе с велосипедом $m = 75$ кг, включая массу колес $m_1 = 3{,}0$ кг. Колеса велосипеда считайте обручами.

21. Определите линейное ускорение a движения центра тяжести шара, скатывающегося с наклонной плоскости. Угол наклона плоскости $\alpha = 30^{\circ}$, начальная скорость шара равна нулю.

22. Два шара, подвешенные на параллельных нитях одинаковой длины, соприкасаются. Масса первого шара $m_1 = 0{,}20$ кг, масса второго $m_2 = 0{,}10$ кг. Первый шар отклонили так, что его центр тяжести оказался на высоте $h = 8{,}0$ см, и отпустили. На какую высоту H поднимутся шары после их неупругого соударения? Определите изменение энергии ΔE шаров при ударе.

23. Стержень длиной $l = 2{,}0$ м, подвешенный на горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня, отклонили от вертикали на угол α и отпустили. Определите угол α, при котором скорость конца стержня при прохождении им положения равновесия $v = 5{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

24. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 8{,}0^{\circ}$, а затем по горизонтальной поверхности.

Найдите коэффициент трения μ (он одинаков на обоих участках пути), если известно, что тело проходит по горизонтали такое же расстояние s, как и по наклонной плоскости.

25. Мальчик катит обруч по горизонтальной поверхности со скоростью $v = 7{,}2\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. На какое расстояние l может вкатиться обруч на горку за счет своей кинетической энергии, если уклон горки составляет $h_0 = 1{,}0$ м на пути $l_0 = 10$ м.

Закон сохранения момента импульса (ЗСМИ)

26. Горизонтальная платформа массой $M = 70$ кг и радиусом $R = 5{,}0$ м вращается свободно относительно вертикальной оси с частотой $n_1 = 10\ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Человек массой $m = 60$ кг стоит на краю платформы. С какой частотой n_2 будет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Какую работу A совершит человек при переходе? Момент инерции платформы рассчитайте, как диска, а человека – как материальной точки.

27. Диск радиусом $R = 1{,}0$ м и массой $m = 100$ кг вращается с частотой $n_1 = 1{,}0\ \frac{\text{об}}{\text{с}}$. В центре диска стоит человек и держит гири в вытянутых в стороны руках. Определите угловую скорость ω_2 вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от величины $I_{\text{ч}1} = 20\ \text{кг} \cdot \text{м}^2$ до $I_{\text{ч}2} = 5{,}0\ \text{кг} \cdot \text{м}^2$. Какую работу A совершит человек?

28. Платформа (диск) радиусом $R = 3{,}0$ м и массой $m_1 = 180$ кг может вращаться без трения вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если по ее краю пойдет человек массой $m_2 = 70$ кг со скоростью $v = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно платформы?

29. На неподвижной скамье Жуковского стоит человек и ловит рукой мяч массой $m = 0{,}50$ кг, который летит горизонтально со скоростью $v = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. С какой угловой скоростью ω будет вращаться скамья с человеком, поймавшим мяч? Расстояние мяча от оси вращения скамьи $r = 0{,}50$ м. Момент инерции скамьи с человеком $I = 5{,}0\ \text{кг} \cdot \text{м}^2$.

30. Человек стоит в центре скамьи Жуковского и держит в руках стержень, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамьи. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью $\omega_1 = 4{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. С какой угловой скоростью ω_2 будет вращаться скамья с человеком, если он расположит стержень горизонтально так, что его центр масс будет на оси скамьи. Момент инерции скамьи с человеком $I = 5{,}0\ \text{кг} \cdot \text{м}^2$. Длина стержня $l = 2{,}0$ м, его масса $m = 6{,}0$ кг.

31. Диск радиусом $R = 1{,}0$ м и массой $m = 20$ кг вращается с угловой скоростью $\omega_1 = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. В центре диска стоит человек и держит в вытянутых в стороны руках гири массой $m = 3{,}0$ кг каждая; расстояние гирь от оси вращения $r_1 = 1{,}0$ м. Определите угловую скорость ω_2 вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит расстояние гирь от оси до $r_2 = 0{,}20$ м. Момент инерции человека относительно оси вращения $I_{\text{ч}} = 2{,}0$ кг $\cdot$ м^2. Какую работу A совершит человек?

32. Человек стоит на неподвижной скамье Жуковского и держит стержень, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамьи. На конце стержня вращается колесо с частотой $n_1 = 15\ \text{с}^{-1}$. Определите угловую скорость вращения скамьи ω_2, когда человек повернет стержень с колесом на угол 180°. Суммарный момент инерции скамьи с человеком $I = 8{,}0$ кг $\cdot$ м^2. Радиус колеса $R = 20$ см, а его масса $m = 2{,}0$ кг равномерно распределена по ободу.

Механические колебания

33. Пружинный маятник жесткостью $k = 1{,}0 \cdot 10^3\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ совершает гармонические колебания. Масса груза $m = 5{,}0$ г, его максимальная скорость $v_{\max} = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите циклическую частоту ω и период колебаний груза T, а также амплитуду колебаний A.

34. Частица массой $m = 1{,}0$ г совершает гармонические колебания по закону $x = 10\cos\frac{\pi}{4}t$, см. Определите циклическую частоту ω, период колебаний T, максимальную скорость частицы $v_{\max}$ и ее полную механическую энергию E.

35. Материальная точка (МТ) массой $m = 10$ г совершает колебания по гармоническому закону $x(t) = 10\ \cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$, см. Определите амплитуду A и период T колебаний МТ, а также модуль ее скорости v_1 в момент времени $t_1 = 3{,}0$ с.

Молекулярная физика: параметры идеального газа и характеристики молекул

36. В сосуде содержится смесь газов: азота N_2 массой $m_1 = 42$ г и гелия He массой $m_2 = 8{,}0$ г, – при температуре $t = 27$ °C и давлении $p = 10^6$ Па. Определите: количество вещества ν смеси; объем сосуда V; концентрацию молекул n; среднюю энергию одной молекулы N_2 и H_2 $\langle\varepsilon_1\rangle$ и $\langle\varepsilon_2\rangle$; среднюю квадратичную $\langle v_{\text{кв}}\rangle$ скорость молекул N_2 и H_2.

Молекулярная физика: явления переноса

37. Цилиндрический термос, имеющий внешний радиус $r_2 = 13$ см, внутренний $r_1 = 12$ см, и высоту $h = 30$ см, наполнен чаем с температурой $t_1 = 95$ °C. Температура воздуха снаружи $t_2 = 25$ °C. Давление воздуха, заключенного между стенками термоса, $p = 0{,}1$ Па. Молярная масса $M = 29 \cdot 10^{-3}\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$. Какое количество теплоты Q переносится за время $t = 1$ мин путем теплопроводности через боковую поверхность термоса?

38. Какое количество теплоты Q теряется за время $t = 1$ ч через окно путем теплопроводности воздуха, заключенного между рамами? Площадь каждой рамы $S = 4$ м^2, расстояние между рамами $l = 20$ см. Температура в помещении $t_1 = 20$ °C, температура воздуха снаружи $t_1 = -20$ °C. Температуру воздуха между рамами примите равной среднему арифметическому температур в помещении и снаружи. Давление воздуха $p = 10^5$ Па. Эффективный диаметр молекул воздуха $d = 3{,}8 \cdot 10^{-10}$ м.

39. Найдите массу m азота, прошедшего путем диффузии через площадку $S = 0{,}01$ м^2 за время $t = 10$ с, если плотность газа изменяется вдоль оси x, перпендикулярной площадке, с градиентом $\frac{\Delta\rho}{\Delta x} = 1{,}3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}$. Температура газа $t = 27$ °C, средняя длина свободного пробега его молекул $\langle\lambda\rangle = 1{,}0$ мкм.

40. Определите вязкость η азота при давлении $p = 2 \cdot 10^5$ Па и температуре $t = 27$ °C, если при этих параметрах газа коэффициент диффузии $D = 0{,}7 \cdot 10^{-5}\ \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$.

41. Коэффициент диффузии и вязкость водорода при некоторых параметрах газа равны $D = 1{,}42 \cdot 10^{-3}\ \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ и $\eta = 8$ мкПа · с. Определите концентрацию газа n (число молекул в единице объема), его плотность ρ, среднюю длину свободного пробега $\langle\lambda\rangle$ и среднюю арифметическую скорость $\langle v\rangle$ молекул. Эффективный диаметр молекул водорода $d = 2{,}8 \cdot 10^{-10}$ м.

42. Самолет летит со скоростью $v = 360\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Считая, что слой воздуха у крыла, увлекаемый вследствие вязкости, имеет толщину $\Delta x = 4$ см, найдите касательную силу, действующую на единицу поверхности крыла: $\frac{F}{S}$. Температура воздуха $t = 0$ °C. Эффективный диаметр молекул воздуха $d = 3{,}8 \cdot 10^{-10}$ м.

43. Пространство между двумя коаксиальными цилиндрами заполнено газом. Радиусы цилиндров $R_1 = 5{,}0$ см и $R_2 = 5{,}2$ см, их высота $h = 25$ см. Внешний цилиндр вращается с частотой $n = 600\ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Для того,

чтобы внутренний цилиндр оставался неподвижным, к нему приложена касательная сила $F_\tau = 2{,}3$ мН. Определите вязкость η газа, находящегося между цилиндрами.

44. Определите теплопроводность воздуха K при давлении $p = 100$ кПа и температуре $t = 27$ °С. Эффективный диаметр молекул воздуха $d = 3{,}8 \cdot 10^{-10}$ м.

Молекулярная физика: средняя энергия молекулы и внутренняя энергия идеального газа

45. Определите внутреннюю энергию U водорода, количество которого $\nu = 0{,}5$ моль, а также среднюю кинетическую энергию $\langle\varepsilon\rangle$ молекулы этого газа при температуре $T = 300$ К.

46. Определите суммарную кинетическую энергию $E_К$ поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объемом $V = 3$ л под давлением $p = 500$ кПа.

47. Молярная внутренняя энергия двухатомного газа $U_m = 6{,}02\ \frac{кДж}{моль}$. Определите среднюю энергию $\langle\varepsilon_{вращ}\rangle$ вращательного движения одной молекулы этого газа. Газ считайте идеальным.

48. Определите среднюю энергию $\langle\varepsilon\rangle$ и среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв}\rangle$ молекулы водяного пара при температуре $T = 500$ К.

49. Количество гелия $\nu = 1{,}5$ моль, его температура $T = 200$ К. Определите суммарную энергию $E_К$ поступательного движения всех молекул этого газа.

50. Определите среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв}\rangle$ молекулы газа, находящегося в сосуде объемом $V = 2$ л под давлением $p = 200$ кПа. Масса газа $m = 0{,}5$ г.

51. Определите при температуре $T = 300$ К среднюю энергию $\langle\varepsilon_{вращ}\rangle$ вращательного движения одной молекулы, а также суммарную кинетическую энергию $E_К$ всех молекул водорода, количество которого $\nu = 0{,}5$ моль.

52. В азоте при температуре $T = 400$ К взвешены мельчайшие пылинки, которые движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Масса одной пылинки $m = 5 \cdot 10^{-13}$ кг. Определите средние квадратичные скорости $\langle v_{кв}\rangle$ и средние энергии поступательного движения $\langle\varepsilon_{пост}\rangle$ молекулы азота и пылинки.

53. Определите среднюю энергию поступательного движения $\langle\varepsilon_{пост}\rangle$ и вращательного – $\langle\varepsilon_{вращ}\rangle$, а также среднее значение полной энергии $\langle\varepsilon\rangle$ молекулы азота при температуре $T = 500$ К.

Термодинамика: первый закон термодинамики в изопроцессах

54. Определите количество теплоты Q, которое нужно сообщить кислороду, занимающему объем $V = 50$ л, при его изохорном нагревании, чтобы давление газа повысилось на величину $\Delta p = 500$ кПа.

55. При изотермическом расширении азота массой $m = 0{,}2$ кг при температуре $T = 280$ К его объем V увеличился в два раза. Определите совершенную при расширении газа работу A, изменение внутренней энергии ΔU и количество теплоты Q, полученное газом.

56. Кислород массой $m = 0{,}16$ кг занимает объем $V_1 = 0{,}1$ м^3 при давлении $p_1 = 200$ кПа. При нагревании газ расширяется при постоянном давлении до объема $V_2 = 0{,}3$ м^3, а затем его давление возрастает до $p_2 = 500$ кПа при неизменном объеме. Постройте график процессов. Определите изменение внутренней энергии ΔU газа, совершенную им работу A и теплоту Q, переданную газу.

57. Какая доля ω_1 количества теплоты Q, подводимого к идеальному газу в изобарном процессе, расходуется на увеличение внутренней энергии газа ΔU, и какая доля ω_2 – на работу A расширения газа? Рассмотрите три случая: 1) газ одноатомный, 2) газ двухатомный, 3) газ трехатомный.

58. В сосуде под поршнем находится азот массой $m = 1$ г. Какое количество теплоты Q требуется для нагревания этого газа на $\Delta T = 10$ К? На какую высоту h поднимется при этом поршень? Масса поршня $m_п = 1$ кг, его площадь $S = 10$ см^2. Давление воздуха снаружи $p_0 = 100$ кПа.

Термодинамика: адиабатный процесс

59. До какой температуры T_2 охладится воздух, находящийся при температуре $t_1 = 0$ °С, при адиабатном расширении от объема V_1 до объема $V_2 = 2V_1$?

60. При адиабатном сжатии воздуха в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания давление изменяется от $p_1 = 0{,}1$ МПа до $p_2 = 3{,}5$ МПа. Начальная температура воздуха $t_1 = 40$ °С. Определите температуру воздуха T_2 в конце сжатия.

61. Газ расширяется адиабатно так, что его объем V увеличивается вдвое, а термодинамическая температура T снижается в 1,32 раза. Какое число степеней свободы i имеет молекула этого газа?

62. Азот, находящийся при температуре $t_1 = 27$ °С и давлении $p_1 = 2$ МПа, сжимается адиабатно от объема V_1 до $V_2 = 0{,}5V_1$. Определите температуру T_2 и давление газа p_2 после сжатия.

Термодинамика: цикл Карно

63. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура теплоотдатчика T_1 в четыре раза больше температуры теплоприемника T_2. Определите термический КПД цикла η и долю ω количества теплоты, полученного за один цикл от теплоотдатчика, которую газ отдает теплоприемнику $\left(\omega = \frac{Q_2}{Q_1}\right)$?

64. Определите работу A_2 изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, КПД которого $\eta = 0{,}4$, если работа изотермического расширения газа $A_1 = 8$ кДж.

65. Газ, совершающий цикл Карно, отдал теплоприемнику теплоту $Q_2 = 14$ кДж. Определите термический КПД цикла η и температуру теплоотдатчика T_1, если при температуре теплоприемника $T_2 = 280$ К работа газа за цикл $A = 6$ кДж.

66. Газ, совершающий цикл Карно, отдал теплоприемнику 67 % теплоты, полученной от теплоотдатчика. Определите термический КПД цикла η и температуру теплоприемника T_2, если температура теплоотдатчика $T_1 = 430$ К.

Термодинамика: расчет приращения энтропии

67. Определите приращение энтропии ΔS при нагреве льда массой $m = 0{,}3$ кг от температуры $t_1 = -14$ °C, при плавлении льда, при нагреве полученной воды и превращении ее в пар при температуре $t_2 = 100$ °C.

68. Определите приращение энтропии ΔS при переходе азота массой $m = 28$ г от объема $V_1 = 0{,}1$ м^3 при температуре $T_1 = 250$ К к объему $V_2 = 0{,}4$ м^3 при температуре $T_2 = 500$ К.

69. Кислород массой $m = 16$ г нагревается от $t_1 = 27$ °C до $t_2 = 327$ °C: 1) изохорно и 2) адиабатно. Определите для этих процессов приращение энтропии ΔS, приращение внутренней энергии ΔU и работу A, совершенную газом.

Электростатика: Закон Кулона

70. Два шарика одинакового радиуса и массы висят на нитях равной длины так, что их поверхности соприкасаются. После сообщения каждому шарику заряда $Q = 0{,}4$ мкКл они оттолкнулись друг от друга и нити разошлись на угол $2\alpha = 60^0$. Определите массу m каждого шарика, если расстояние от центра шарика до точки подвеса $l = 20$ см.

71. Два заряженных шарика одинакового радиуса и массы висят на нитях одинаковой длины и опущены в жидкий диэлектрик, плотность которого равна ρ и диэлектрическая проницаемость ε. Какова должна быть плотность ρ_0 материала шариков, чтобы углы расхождения нитей α в воздухе и в диэлектрике были одинаковыми?

Напряженность и потенциал поля системы точечных зарядов

72. Два точечных заряда $Q_1 = 7{,}5$ нКл и $Q_2 = -15$ нКл находятся на расстоянии $r = 5$ см друг от друга. Определите напряженность $\vec{E}$ электростатического поля и его потенциал φ в точке, находящейся на расстоянии $a = 3$ см от положительного заряда и $b = 4$ см – от отрицательного.

73. Два точечных заряда $Q_1 = -5{,}0$ нКл и $Q_2 = 10$ нКл находятся в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 5$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ ЭСП и его потенциал φ в третьей вершине.

74. Три точечных заряда $Q_1 = 5$ нКл, $Q_2 = -8$ нКл и $Q_3 = 3$ нКл находятся в трех вершинах квадрата со стороной $a = 5$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ электростатического поля и его потенциал φ в четвертой вершине.

75. В вершинах правильного шестиугольника со стороной $a = 5$ см находятся три положительных и три отрицательных заряда. Определите напряженность $\vec{E}$ электростатического поля и его потенциал φ в центре шестиугольника при любом расположении зарядов. Величина каждого заряда $Q = 1{,}5$ нКл.

76. Три точечных заряда $Q_1 = 5$ нКл, $Q_2 = -10$ нКл и $Q_3 = 5$ нКл расположены в трех вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ электростатического поля и его потенциал φ в центре квадрата.

Напряженность и потенциал поля распределенного заряда

77. Электростатическое поле образовано нитью длиной $l = 1{,}5$ м, имеющей заряд $Q = 9$ нКл, *равномерно распределенный* по длине нити. Определите напряженность поля $\vec{E}$ и его потенциал φ в точке, лежащей на продолжении нити на расстоянии $a = 40$ см от ее конца.

78. Электростатическое поле образовано нитью длиной $l = 1{,}5$ м, изогнутой в форме полукольца и имеющей заряд $Q = 5$ нКл, *равномерно распределенный* по длине нити. Определите напряженность поля $\vec{E}$ и его потенциал φ в центре полукольца.

79. Четверть тонкого кольца радиусом $R = 10$ см несет *равномерно распределенный заряд* $Q = 0{,}05$ мкКл. Определите потенциал φ и напряженность $\vec{E}$ электростатического поля в центре кольца.

80. По тонкому кольцу *равномерно распределен* заряд $Q = 10$ нКл с линейной плотностью заряда $\tau = 10\ \frac{\text{нКл}}{\text{м}}$. Определите потенциал φ и напряженность $\vec{E}$ электростатического поля в точке A, лежащей на оси кольца и удаленной от его центра на расстояние a, равное радиусу кольца.

Расчет напряженности ЭСП с помощью теоремы Гаусса

81. На двух концентрических сферах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $\sigma_1 = \sigma$ и $\sigma_2 = -\sigma$, где $\sigma = 0{,}2\ \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$. 1) Используя теорему Гаусса, найдите зависимость $E_r(r)$ – проекции вектора напряженности электростатического поля от расстояния, для трех областей: I, II и III (рис. 1). 2) Покажите направление вектора $\vec{E}$ и вычислите модуль E в точке на расстоянии $r = 3R$ от центра сфер. 3) Постройте график зависимости $E_r = f(r)$.

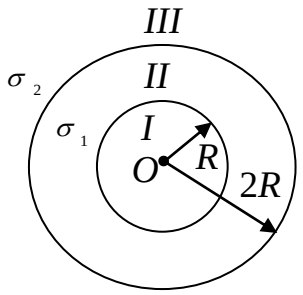


Рис.1

82. На двух бесконечных параллельных плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $\sigma_1 = -\sigma$ и $\sigma_2 = 2\sigma$, где $\sigma = 0{,}5\ \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$. 1) Используя теорему Гаусса и принцип суперпозиции электрических полей, найдите зависимость проекции вектора напряженности ЭСП от координаты x: $E_x(x)$, – для трех областей: I, II и III (рис. 2). 2) Покажите направление вектора $\vec{E}$ и вычислите модуль E в точке, расположенной справа от плоскостей. 3) Постройте график зависимости $E_x = f(x)$.

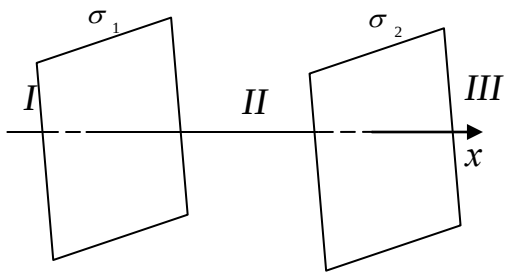


Рис. 2

83. На двух бесконечно длинных коаксиальных цилиндрах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $\sigma_1 = -\sigma$ и $\sigma_2 = 2\sigma$, где $\sigma = 1{,}0\ \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$. 1) Используя теорему Гаусса, найдите зависимость проекции вектора напряженности ЭСП от расстояния $E_r(r)$ для трех областей: I, II и III (рис. 3). 2) Покажите направление вектора $\vec{E}$ и вычислите модуль E в точке на расстоянии $r = 3R$ от оси цилиндров. 3) Постройте график $E_r = f(r)$.

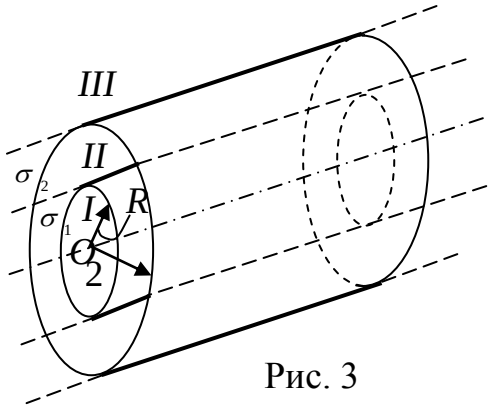


Рис. 3

Движение заряженных частиц в электростатическом поле

84. Пылинка массой $m = 200$ мкг, имеющая заряд $Q = 40$ нКл, влетела в электростатическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $U = 200$ В пылинка имела скорость $v = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите скорость пылинки v_0 до того, как она влетела в поле.

85. Электрон, имеющий кинетическую энергию $W_{\text{К}} = 10$ эВ, влетел в однородное электростатическое поле в направлении силовых линий. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов $U = 8$ В?

86. Электрон с энергией $W_{\text{К}} = 10$ эВ движется вдоль силовой линии из бесконечности к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R = 10$ см. Определите минимальное расстояние a, на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если ее заряд $Q = -10$ нКл.

87. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость $v = 10^5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Расстояние между пластинами $d = 8$ мм. Определите разность потенциалов U между пластинами и поверхностную плотность заряда σ на пластинах.

88. В однородное электростатическое поле напряженностью $E = 200\ \frac{\text{В}}{\text{м}}$ влетает вдоль силовой линии протон со скоростью $v_0 = 2\ \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$. Определите расстояние l, которое пройдет протон до точки, где его скорость будет равна половине начальной.

Конденсаторы

89. Конденсатор емкостью $C_1 = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 10$ В. Определите заряд на обкладках этого конденсатора после того, как параллельно ему подключили незаряженный конденсатор, емкость которого $C_2 = 20$ мкФ.

90. Два конденсатора емкостями $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 8$ мкФ соединены последовательно и подключены к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 80$ В. Определите заряды Q_1 и Q_2 конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.

91. Два заряженных металлических шара, первый радиусом $R_1 = 2$ см, имеющий заряд $Q_1 = 30$ нКл, а второй – радиусом $R_2 = 5$ см, имеющий потенциал $\varphi_2 = 10$ кВ, соединили проводником, емкостью которого можно пренебречь. Определите 1) заряд второго шара до соединения шаров, 2) потенциал шаров φ' после их соединения, 3) энергии W_1 и W_2 каждого шара до соединения.

92. Между обкладками заряженного конденсатора плотно вдвигается пластина диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε. Сравните емкости конденсатора C_0 и C_1, заряды обкладок Q_0 и Q_1 и разности потенциалов между обкладками $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\varphi_1$ до и после внесения пластины диэлектрика. Рассмотрите два случая: а) конденсатор отключен от источника тока; б) конденсатор подсоединен к источнику тока.

Постоянный электрический ток

93. При измерении мультиметром постоянного напряжения в диапазоне до $U_0 = 20$ мВ сопротивление прибора $R_V = 0{,}1$ кОм. Какие сопротивления R_i используются в приборе и как они подключаются к сопротивлению R_V, чтобы переключать диапазон измерений прибора на напряжения U_i, равные 2 В и 600 В?

94. При измерении мультиметром постоянного тока в диапазоне до $I_0 = 0{,}2$ мА сопротивление прибора $R_\text{А} = 1$ Ом. Какие сопротивления R_i используются в приборе и как они подключаются к сопротивлению $R_\text{А}$, чтобы переключать диапазон измерений прибора на токи I_i, равные 200 мА и 10 А?

95. Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 240$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом замкнута на внешнее сопротивление $R = 23$ Ом. Определите полную мощность источника тока P_0, полезную мощность P и КПД батареи η.

96. Нагреватель электрического чайника имеет две секции. При включении одной из них вода в чайнике закипает за время $t_1 = 15$ мин, а при включении другой секции – через $t_2 = 30$ мин. За какой промежуток времени t закипит вода в чайнике, если соединить обе секции: а) последовательно, б) параллельно?

97. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 80$ В, ее внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определите силу тока в цепи, напряжение, под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление.

98. Генератор постоянного тока развивает ЭДС $\mathcal{E} = 150$ В. Ток в цепи $I = 5$ А. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 0{,}5$ Ом. Определите мощность P, передаваемую потребителю, КПД η и ток короткого замыкания $I_\text{КЗ}$ источника тока, если ток подводится к потребителю по двухпроводной линии длиной $l = 500$ м. Провод линии алюминиевый, его сечение $S = 5$ мм^2, температура проводов $t = 50$ °С. Удельное сопротивление алюминия при температуре $t_0 = 0$ °С: $\rho_0 = 2{,}5 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

99. Определите мощность P, которая выделяется во внешней цепи, состоящей из двух резисторов, сопротивлением R каждый, если на резисторах выделяется одинаковая мощность P, как при последовательном, так и при параллельном соединении. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 12$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом.

100. Источник тока замыкают сначала на внешнее сопротивление $R_1 = 9$ Ом, а затем на внешнее сопротивление $R_2 = 4$ Ом. В обоих случаях за равное время t на каждом сопротивлении выделяется одинаковое количество теплоты Q. Определите внутреннее сопротивление r источника тока.

1.3. Установочные лекции

Таблица 2

Номер лекции	Тема занятия	Программные вопросы
1	Кинематика поступательного и вращательного движения	1 – 5
1, 2	Динамика поступательного и вращательного движения	6 – 11
2, 3	Работа. Энергия. Законы сохранения	12–17
3	Молекулярная физика. Явление переноса	27, 30–33
4	Термодинамика. I и II начала термодинамики. Энтропия. Циклы	34– 44
5	Электрическое поле – напряженность и потенциал. Теорема Остроградского – Гаусса. Работа сил электрического поля	48–52
5	Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Электроемкость. Энергия электрического поля	53–60
6	Постоянный электрический ток	61–65

1.4. Самостоятельная работа студентов

В самостоятельную работу студентов (СРС) включается следующее:
1) выполнение контрольной работы №1;
2) подготовка к выполнению лабораторных работ (см. раздел 3);

3) подготовка к экзамену (по программным вопросам и задачам);
4) изучение по рекомендуемой литературе тем, представленных в табл. 3.

Таблица 3

Номер темы	Тема	Программные вопросы
1	Неинерциальные системы отсчета	18–19
2	Механические колебания	20–24
3	Специальная теория относительности	25–26
4	Распределение молекул по скоростям и в потенциальном силовом поле	28–29
5	Реальный газ	45–46

1.5. Требования к оформлению решения задач контрольной работы

1. Приводите в своей тетради полный текст задачи, а затем краткое условие задачи, выписывая заданные и определяемые величины в общепринятых обозначениях.

2. Внимательно отнеситесь к каждому слову в формулировке задачи, чтобы выделить в ней все, в том числе и неявно заданные величины. Например: «…Найти путь, пройденный телом до остановки». Здесь неявно задана конечная скорость, равная нулю. Или в задаче говорится о газе, находящемся при нормальных условиях. Это означает, что заданы давление $p = 1{,}013 \cdot 10^5$ Па и температура $t = 0$ °С, или $T = 273$ К, и т. д.

3. В решении задачи приводите рисунок, график или схему.

4. Решение задачи сопровождайте краткими, но исчерпывающими пояснениями: а) *называйте используемый для решения закон,* б) приводите его словесную или математическую формулировку в общем виде, в) объясняйте правомерность применения закона, уточняя формулу закона в условиях данной задачи, г) *называйте величины, входящие в формулы, в том числе физические постоянные.*

5. Каждую задачу стремитесь решать в общем виде, не делая промежуточных вычислений; решение задачи завершайте расчетной формулой определяемой величины.

6. Вычисляя, *в расчетную формулу обязательно подставляйте значения данных и табличных величин*, в единицах системы СИ.

1.6. Рекомендации к решению физических задач

1. Текст задачи следует внимательно прочитать, чтобы выяснить, какое движение (поступательное, вращательное, качение) или физическое явление рассматривается в задаче. Полезно сделать схематический чертеж или рисунок.

2. ***На сайте ЗИЭФ*** (по адресу http://zief.susu.ac.ru.), в разделе 1 – «Теоретическая часть» изучите сведения о явлении, рассматриваемом в задаче: ознакомьтесь с основными формулами и величинами. Выясните, нельзя ли применить *законы сохранения (ЗСИ, ЗСМИ, ЗСМЭ)* – для этого проверьте, выполняются ли в задаче условия применения закона сохранения (замкнутость механической системы, консервативность сил). Выпишите законы и формулы, которые можно использовать при решении данной задачи.

3. Запишите краткое условие задачи, выбирая для обозначения заданных и искомых величин символы, которые использованы в формулах.

4. Задачу следует решать, как правило, в общем виде, т. е. получить расчетную формулу определяемой величины, содержащую символы заданных величин и физических постоянных.

5. Вычисление определяемой величины начинайте с подстановки в расчетную формулу значений величин. При этом следует помнить, что большинство физических величин имеют свои единицы измерения. Полезно записывать их при подстановке в формулу, чтобы убедиться, что все величины взяты в единицах СИ. Только при вычислении отношений, например, $\frac{m_2}{m_1}$, $\frac{E_2}{E_1}$, $\frac{v_2}{v_1}$ и т. п. можно подставлять величины в любых, но одинаковых единицах, т. е. не обязательно в СИ. Если определяемых величин несколько, то вывод расчетной формулы для следующей начинайте, *закончив вычисление предыдущей определяемой величины*.

6. Полезно выполнять проверку расчетной формулы на совпадение единиц измерения левой и правой части равенства. Несовпадение единиц указывает на ошибку в расчетной формуле.

7. Вычисления и запись результата делайте с точностью до двух или трех (не более) значащих цифр. Незначащие нули записывайте в виде сомножителя $10^{\pm n}$. При этом, если показатель степени n соответствует приставке, то используйте её: например, $h = 0{,}00325$ м $= 3{,}25 \cdot 10^{-3}$ м $=$ 3,25 мм; $v = 37\,400\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3{,}74 \cdot 10^4\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = 37{,}4 \cdot 10^3\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = 37{,}4\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

<u>*Примечание:*</u> значащими цифрами числа являются все его цифры, кроме нулей, стоящих перед первой, не равной нулю цифрой (значащие цифры могут располагаться как перед, так и после запятой). Приведем примеры чисел, содержащих три значащих цифры: 23,5; 0,0314; 40,0.

8. Помните, что точность результата вычислений не может быть выше, чем точность исходных данных. Это означает, что в полученном

результате следует оставить столько значащих цифр, сколько их содержится в наименее точном числе исходных данных задачи.

1.7. Рекомендации по выполнению расчетов при решении задач

1. Полученную расчетную формулу проверьте на совпадение единиц измерения искомой величины (в левой и правой части формулы). Это можно сделать как перед вычислениями (в случае получения расчетной формулы долгим путем, в котором велика вероятность появления ошибки), так и непосредственно при подстановке величин в расчетную формулу.

2. Выполняя вычисления, в расчетную формулу *подставляйте значения величин с указанием их единиц* (независимо от того, была ли сделана предварительная проверка формулы по единицам величин, или нет). Это необходимо делать для того, чтобы убедиться, что все исходные данные взяты в единицах одной системы – системы СИ. При подстановке величин кратные и дольные приставки к единицам (кило-, милли-, нано- и др.) заменяйте соответствующими сомножителями $10^{\pm n}$.

3. Отдельно вычислите произведение чисел a_i, стоящих перед сомножителями $10^{\pm n}$, и полученный результат (величину a) *сразу (при записи с экрана микрокалькулятора) округлите до 3-х значащих цифр*. Затем отдельно вычислите произведение сомножителей $10^{\pm n}$. Напомним правила работы с показателями степеней.

При перемножении чисел $10^{\pm n}$ показатели степеней складываются (так $10^{-m} \cdot 10^{n} = 10^{(-m+n)}$).

При делении чисел показатели вычитаются $\left(\frac{10^{m}}{10^{-n}} = 10^{(m-(-n))} = 10^{(m+n)}\right)$.

При возведении числа $10^{\pm n}$ в степень показатели степени перемножаются $((10^{m})^{n}) = 10^{m \cdot n}$, например, $(10^{-m})^{2} = 10^{-2m}$, или $\sqrt[3]{10^{n}} = (10^{n})^{\frac{1}{3}} = (10)^{\frac{n}{3}}$.

Замечание: при возведении в дробную степень (например, при извлечении корня), чтобы получить целочисленный показатель степени, следует предварительно сделать показатель степени подкоренного выражения кратным 2 (для квадратного корня) или 3 (в случае кубического корня). Например, $\sqrt{6{,}4 \cdot 10^{7}} = \sqrt{64 \cdot 10^{6}} = 8{,}0 \cdot 10^{3}$; или $\sqrt[3]{1{,}25 \cdot 10^{11}} = \sqrt[3]{125 \cdot 10^{9}} = 5{,}0 \cdot 10^{3}$.

4. Число, полученное при вычислениях в виде $a \cdot 10^{\pm n}$, приведите а) к общепринятому виду, в котором сомножитель $0{,}5 \leq a \leq 5$, либо б) к виду, удобному для введения приставки к единице измерения искомой величины. Так $s = 0{,}525 \cdot 10^{7}$ м $= 5{,}25 \cdot 10^{6}$ м $= 5{,}25$ Мм $= 5{,}25 \cdot 10^{3}$ км; $\eta = 3{,}2 \cdot 10^{-7}$ Па $\cdot$ с $= 0{,}32 \cdot 10^{-6}$ Па $\cdot$ с $= 0{,}32$ мкПа $\cdot$ с.

Приведем примеры.

1. В решении задачи получена расчетная формула для определения момента инерции маховика *динамическим методом:*

$$I = \frac{m\left(g - \frac{\omega_1 R}{t}\right)Rt}{\omega_1}, \quad \text{или} \quad I = \frac{m(gt - \omega_1 R)R}{\omega_1}.$$

Проверим формулу по единицам измерения величин:

$$\frac{1\ \text{кг}\left(1\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot 1\ \text{с} - 1\ \text{с}^{-1}\cdot 1\ \text{м}\right)1\ \text{м}}{\text{с}^{-1}} = 1\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2(\text{с}^{-1} - \text{с}^{-1})}{\text{с}^{-1}} = 1\ \text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

Получили единицу измерения момента инерции I, следовательно, расчетная формула верна. Вычисляем по ней момент инерции маховика

$$I = \frac{2\ \text{кг}\cdot\left(9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}3\ \text{с} - 9\ \text{с}^{-1}\cdot 0{,}3\ \text{м}\right)\cdot 0{,}3\ \text{м}}{9\ \text{с}^{-1}} = 1{,}8\ \text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

2. При решении одной из задач получена следующая расчетная формула для высоты h, на которую поднимется поршень в изобарическом процессе расширения газа

$$h = \frac{m}{M}\frac{R\Delta T}{(p_0 S + mg)}.$$

Вычислим перемещение поршня при нагреве газа по формуле (6):

$$h = \frac{1\cdot 10^{-3}\ \text{кг}}{2\cdot 10^{-3}\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}\frac{8{,}31\ \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}\cdot 10\ \text{К}}{\left(10^5\ \text{Па}\cdot 10^{-3}\ \text{м}^2 + 1\ \text{кг}\cdot 9{,}8\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)} = 0{,}38\ \text{м} = 38\ \text{см}.$$

<u>*Примечание:*</u>

Результат вычисления записывайте с точностью до двух или трех (не более) значащих цифр. <u>*Значащими являются все верные цифры числа, кроме нулей, стоящих перед первой ненулевой цифрой*</u> (заметим, что значащие цифры могут быть записаны как до запятой, отделяющей целую часть от дробной, так и после нее). Приведем примеры чисел, содержащих три значащих цифры: 123; 3,45; 0,0216; 20,0 и т. п.

Незначащие нули записывайте в виде сомножителя $10^{\pm n}$. При этом, если показатель степени n соответствует приставке, то используйте её: например, $v = 145\,000 = 1{,}45\cdot 10^5\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = 145\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$; $\lambda = 0{,}0000175\ \text{м} = 1{,}75\cdot 10^{-5}\ \text{м} = 17{,}5$ мкм. Помните, что точность результата вычислений не может быть выше, чем точность исходных данных: если величины в условии задачи содержат 2 значащие цифры, то в результате вычислений верными будут только 2 значащие цифры (остальные будут ложными и поэтому их не указывают).

В случае затруднений при использовании приставок (они указаны в табл. 1 приложения) или при работе с множителями $10^{\pm n}$, постарайтесь усвоить следующие простые правила.

Разбивая число x на два сомножителя: $x = a\cdot 10^{\pm n}$, – величину a выбирают в интервале (0,5…5,0), при этом показатель степени n показывает порядок величины числа x. Если же для искомой физической величины традиционно используют приставки (например, длину волны

света λ принято выражать в микрометрах (мкм)), то выбирайте значение n соответствующим ближайшей приставке, которая обычно кратна трем, – $n = -6$ (микро); -3 (милли); 3 (кило); 6 (мега) и др.

Если при таком пересчете множитель $10^{\pm n}$ пришлось уменьшить в 10 раз, то необходимо увеличить в 10 раз второй сомножитель – a, чтобы число x не изменилось; и наоборот: увеличивая множитель $10^{\pm n}$, например, в 100 раз, уменьшайте в 100 раз сомножитель a.

Приведем примеры: $x = 0{,}55 \cdot 10^4$ м $= 5{,}5 \cdot 10^3$ м $= 5{,}5$ км; $\lambda = 4{,}5 \cdot 10^{-10}$ м $= 0{,}45 \cdot 10^{-9}$ м $= 0{,}45$ нм. Запись величины $A = 1483\,217$ Дж является неграмотной, так как показывает, что величина работы A определена с точностью до 7 значащих цифр; не менее ошибочна и запись этой величины в виде $A = 1500\,000$ Дж, так как округление величины не уменьшило число значащих цифр (5 нулей являются значащими). Правильной является запись $A = 1{,}5 \cdot 10^6$ Дж $= 1{,}5$ МДж (если в исходных данных две значащих цифры), либо $A = 1{,}48 \cdot 10^6$ Дж $= 1{,}48$ МДж, если при вычислении величины A использовали данные с тремя значащими цифрами.

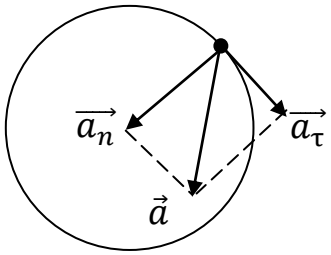
Приведем пример решения и оформления задачи при выполнении контрольной работы.

1.8. Пример решения и оформления задачи контрольной работы

Задача. Материальная точка вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 10$ рад, $B = 20\,\frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $C = -2{,}0\,\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. Определите полное ускорение точки, находящейся на расстоянии $R = 0{,}10$ м от оси вращения, для момента времени $t = 2{,}0$ с.

Дано	***Решение***
$\varphi = A + Bt + Ct^3$; $A = 10$ рад; $B = 20\,\frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $C = -2{,}0\,\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$; $R = 0{,}10$ м; $t = 2{,}0$ с.	Вращающаяся точка движется по окружности; при этом ее полное ускорение $\vec{a}$ равно сумме векторов ускорений – тангенциального $\overrightarrow{a_\tau}$, направленного по касательной к траектории, и нормального ускорения $\overrightarrow{a_n}$, направленного к центру кривизны траектории: $$\vec{a} = \overrightarrow{a_n} + \overrightarrow{a_\tau}.$$
$\vec{a}$ – ?	Так как векторы $\overrightarrow{a_n}$ и $\overrightarrow{a_\tau}$ взаимно перпендикулярны, то модуль ускорения $$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}. \quad (1)$$

Линейные ускорения материальной точки: нормальное и тангенциальное, – связаны с угловыми величинами следующими формулами:



$$a_n = \omega^2 R; \quad a_\tau = \varepsilon R, \qquad (2)$$

где ω – угловая скорость точки; ε – ее угловое ускорение.

Подставляя выражения (2) в формулу (1), получаем расчетную формулу в виде:

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 R^2 + \omega^4 R^2} = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}. \qquad (3)$$

Угловую скорость ω находим, как первую производную от угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t} = B + 3Ct^2.$$

В момент времени $t = 4$ с модуль угловой скорости

$$\omega = \left|20\ \frac{\text{рад}}{\text{с}} + 3 \cdot \left(-2\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}\right) \cdot 2^2\ \text{с}^2\right| = 4{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Угловое ускорение равно первой производной от угловой скорости по времени:

$$\varepsilon = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = 6Ct.$$

Его модуль в момент времени $t = 4$ с:

$$\varepsilon = \left|6 \cdot \left(-2\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}\right) \cdot 2\ \text{с}\right| = 24\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Подставляя значения ω, ε и R в формулу (3) вычисляем линейное ускорение материальной точки:

$$a = 0{,}10\ \text{м} \cdot \sqrt{24^2 + 4{,}0^4}\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^2} = \sqrt{8{,}32}\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 2{,}88\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 2{,}9\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

1.9. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимова, Т.И. Курс физики: учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов / Т.И. Трофимова. – М.: Академия, 2010. – 557 с.

2. Писарев, Н.М. Физика: Курс лекций для студентов инженерных специальностей вузов / Н.М. Писарев; под ред. Г.П. Вяткина. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. – Ч.1. – 171 с. Ч.2. – 299 с.

3. Детлаф, А.А. Курс физики: учебное пособие для втузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Академия, 2008. – 719 с.

4. Савельев, И.В. Курс физики Т.1: Механика. Т.2: Электричество и магнетизм. Т.3: Молекулярная физика: учебное пособие для втузов: в 5 т. / И.В. Савельев. – СПб. и др.: Лань, 2011. – 342 с.

5. Савельев, И.В. Курс физики Т.3: Молекулярная физика: учебное пособие для втузов: в 5 т. / И.В. Савельев. – СПб. и др.: Лань, 2008. – 208 с.

6. Механика и молекулярная физика. Руководство к решению задач: учебное пособие для студентов вузов / В.К. Герасимов, Т.О. Миронова, Ю.Б. Пейсахов, Т.П. Привалова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 83 с. http://physics.susu.ac.ru/data/ mechanics.pdf.

7. Чертов, А.Г. Задачник по физике: учебное пособие для втузов / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Издательство Физматлит, 2008. – 640 с.

8. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике: учебное пособие для втузов / И.Е. Иродов. – СПб. и др.: Лань, 2009. – 431 с.

9. Фирганг, Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики: учебное пособие для втузов по техническим и технологическим направлениям / Е.В. Фирганг. – СПб. и др.: Лань, 2009. – 347 с.

10. Герасимов, В.К. Физика. Руководство по изучению курса физики: учебное пособие для студентов вузов заочной формы обучения / В.К. Герасимов, Т.О. Миронова, Ю.Б. Пейсахов, Т.П. Привалова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 110 ? с. ?

11. Механика и молекулярная физика: учебное пособие к выполнению лабораторных работ / В.К. Герасимов, А.Е. Гришкевич, С.И. Морозов и др.; под ред. В.П. Бескачко. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 95 с.

12. Механика и молекулярная физика: учебное пособие к выполнению лабораторных работ / В.К. Герасимов, А.Е. Гришкевич, С.И. Морозов и др.; под ред. В.П. Бескачко. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 95 с. http://physics.susu.ac.ru/data/mechanics.pdf.

13. Герасимов, В.К. Физика. Т.1: Механика и молекулярная физика. учебное пособие по физике: выполнение контрольных и лабораторных работ; в 3 т. / В.К. Герасимов, Т.О. Миронова, Ю.Б. Пейсахов, Т.П. Привалова. – 140 с. Сайт ЗИЭФ ЮУрГУ – http://zief.susu.ac.ru.

14. Герасимов, В.К. Физика. Т.2: Электромагнетизм / В.К. Герасимов и другие авторы. Сайт ЗИЭФ ЮУрГУ – http://zief.susu.ac.ru.

2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Студент ЗИЭФ решает 6 задач своего варианта, номер которого совпадает с последней цифрой его шифра. Номера задач каждого варианта представлены в табл. 4.

2.1. Таблица вариантов контрольной работы №1

Таблица 4

Вариант	Номера задач					
0	110	120	130	140	150	160
1	101	111	121	131	141	151
2	102	112	122	132	142	152
3	103	113	123	133	143	153
4	104	114	124	134	144	154
5	105	115	125	135	145	155
6	106	116	126	136	146	156
7	107	117	127	137	147	157
8	108	118	128	138	148	158
9	109	119	129	139	149	159

2.2. ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №1

Кинематика поступательного и вращательного движения

101. Материальная точка движется по окружности радиусом $R = 10$ см. Зависимость пути от времени задана уравнением $s = Ct^3$, где $C = 0{,}10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^3}$. Определите нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение точки в момент времени, когда линейная скорость точки $v = 0{,}30\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

102. Колесо радиусом $R = 0{,}10$ м вращается так, что зависимость угла поворота колеса от времени дается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $B = 2{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $C = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. В момент времени $t = 2{,}0$ с после начала движения для точек на ободе колеса определите: 1) угловую скорость ω; 2) угловое ускорение ε; 3) нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение.

103. Материальная точка движется по окружности радиусом $R = 20$ см. Зависимость пути от времени задана уравнением $s = Ct^3$, где $C = 0{,}10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^3}$. Определите нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение точки в момент времени, когда линейная скорость точки $v = 0{,}60\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

104. Диск радиусом $R = 0{,}2$ м вращается так, что зависимость угла поворота диска от времени дается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $B = 2{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $C = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. В момент времени $t = 1{,}0$ с после начала

движения для точек на ободе колеса определите: 1) угловую скорость ω; 2) угловое ускорение ε; 3) нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение.

105. Материальная точка движется по окружности радиусом $R = 3{,}0$ см. Зависимость пути от времени задана уравнением $s = Ct^3$, где $C = 0{,}10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^3}$. Определите нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение точки в момент времени, когда линейная скорость точки $v = 0{,}60\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

106. Колесо радиусом $R = 0{,}10$ м вращается так, что зависимость угла поворота колеса от времени дается уравнением $\varphi = A + Ct^3$, где $C = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. В момент времени $t = 3{,}0$ с после начала движения для точек на ободе колеса определите: 1) угловую скорость ω; 2) угловое ускорение ε; 3) нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение.

107. Материальная точка движется по окружности радиусом $R = 2{,}0$ см. Зависимость пути от времени задана уравнением $s = Ct^4$, где $C = 0{,}10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^4}$. Определите нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение точки в момент времени, когда линейная скорость точки $v = 0{,}40\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

108. Диск радиусом $R = 0{,}20$ м вращается так, что зависимость угла поворота диска от времени дается уравнением $\varphi = A + Ct^3$, где $C = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. В момент времени $t = 2{,}0$ с после начала движения для точек на ободе колеса определите: 1) угловую скорость ω; 2) угловое ускорение ε; 3) нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение.

109. Материальная точка движется по окружности радиусом $R = 4{,}0$ см. Зависимость пути от времени задана уравнением $s = Ct^4$, где $C = 0{,}10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^4}$. Определите нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение точки в момент времени, когда линейная скорость точки $v = 0{,}40\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

110. Колесо радиусом $R = 0{,}10$ м вращается так, что зависимость угла поворота колеса от времени дается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^4$, где $B = 2{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $C = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$. В момент времени $t = 1{,}0$ с после начала движения для точек на ободе колеса определите: 1) угловую скорость ω; 2) угловое ускорение ε; 3) нормальное $\overrightarrow{a_n}$ и тангенциальное $\overrightarrow{a_\tau}$ ускорение.

Закон сохранения момента импульса (ЗСМИ)

111. Горизонтальная платформа массой $M = 70$ кг и радиусом $R = 5{,}0$ м вращается свободно относительно вертикальной оси с частотой $n_1 = 10\ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Человек массой $m = 60$ кг стоит на краю платформы. С какой частотой n_2 будет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Какую работу A совершит человек

при переходе? Момент инерции платформы рассчитайте, как диска, а человека – как материальной точки.

112. Диск радиусом $R = 1{,}0$ м и массой $m = 100$ кг вращается с частотой $n_1 = 1{,}0\ \frac{\text{об}}{\text{с}}$. В центре диска стоит человек и держит гири в вытянутых в стороны руках. Определите угловую скорость ω_2 вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от величины $I_{\text{ч}1} = 20$ кг $\cdot$ м^2 до $I_{\text{ч}2} = 5{,}0$ кг $\cdot$ м^2. Какую работу A совершит человек?

113. Платформа (диск) радиусом $R = 3{,}0$ м и массой $m_1 = 180$ кг может вращаться без трения вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если по ее краю пойдет человек массой $m_2 = 70$ кг со скоростью $v = 2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ относительно платформы?

114. На краю платформы (диска) радиусом $R = 2{,}0$ м, которая вращается свободно относительно вертикальной оси с частотой $n_1 = 8{,}0\ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, стоит человек массой $m = 70$ кг. Когда человек перешел в центр платформы, она стала вращаться с частотой $n_2 = 10\ \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Определите массу M платформы. Момент инерции человека рассчитайте, как для материальной точки.

115. На неподвижной скамье Жуковского стоит человек и ловит рукой мяч массой $m = 0{,}50$ кг, который летит горизонтально со скоростью $v = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. С какой угловой скоростью ω будет вращаться скамья с человеком, поймавшим мяч? Расстояние мяча от оси вращения скамьи $r = 0{,}50$ м. Момент инерции скамьи с человеком $I = 5{,}0$ кг $\cdot$ м^2.

116. Человек стоит в центре скамьи Жуковского и держит в руках стержень, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамьи. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью $\omega_1 = 4{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. С какой угловой скоростью ω_2 будет вращаться скамья с человеком, если он расположит стержень горизонтально так, что его центр масс будет на оси скамьи. Момент инерции скамьи с человеком $I = 5{,}0$ кг $\cdot$ м^2. Длина стержня $l = 2{,}0$ м, его масса $m = 6{,}0$ кг.

117. Человек массой $m_1 = 60$ кг стоит на неподвижной платформе в виде диска радиусом $R = 5{,}0$ м и массой $m_2 = 100$ кг. Сколько оборотов в минуту n будет делать платформа, если человек пойдет по окружности радиусом $r = 3{,}0$ м со скоростью $v = 4{,}8\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ относительно платформы. Момент инерции человека рассчитайте, как для материальной точки.

118. Диск радиусом $R = 1{,}0$ м и массой $m = 20$ кг вращается с угловой скоростью $\omega_1 = 1{,}0\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. В центре диска стоит человек и держит

в вытянутых в стороны руках гири массой $m = 3{,}0$ кг каждая; расстояние гирь от оси вращения $r_1 = 1{,}0$ м. Определите угловую скорость ω_2 вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит расстояние гирь от оси до $r_2 = 0{,}20$ м. Момент инерции человека относительно оси вращения $I_ч = 2{,}0$ кг $\cdot$ м^2. Какую работу A совершит человек?

119. Человек стоит на неподвижной скамье Жуковского и держит стержень, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамьи. На конце стержня вращается колесо с частотой $n_1 = 15$ с$^{-1}$. Определите угловую скорость вращения скамьи ω_2, когда человек повернет стержень с колесом на угол 180°. Суммарный момент инерции скамьи с человеком $I = 8{,}0$ кг $\cdot$ м^2. Радиус колеса $R = 20$ см, а его масса $m = 2{,}0$ кг равномерно распределена по ободу.

120. Платформа в виде диска радиусом $R = 4{,}0$ м и массой $m_1 = 100$ кг может вращаться без трения вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если по ее краю пойдет человек массой $m_2 = 60$ кг со скоростью $v = 1{,}2\ \frac{м}{с}$ относительно платформы?

Молекулярная физика: средняя энергия молекулы и внутренняя энергия идеального газа

121. Определите внутреннюю энергию U водорода, количество которого $\nu = 0{,}5$ моль, а также среднюю кинетическую энергию $\langle\varepsilon\rangle$ молекулы этого газа при температуре $T = 300$ К.

122. Определите суммарную кинетическую энергию $E_К$ поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объемом $V = 3$ л под давлением $p = 500$ кПа.

123. Молярная внутренняя энергия двухатомного газа $U_m = 6{,}02\ \frac{кДж}{моль}$. Определите среднюю энергию $\langle\varepsilon_{вращ}\rangle$ вращательного движения одной молекулы этого газа. Газ считайте идеальным.

124. Определите среднюю энергию $\langle\varepsilon\rangle$ и среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв}\rangle$ молекулы водяного пара при температуре $T = 500$ К.

125. Количество гелия $\nu = 1{,}5$ моль, его температура $T = 200$ К. Определите суммарную энергию $E_К$ поступательного движения всех молекул этого газа.

126. Определите среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв}\rangle$ молекулы газа, находящегося в сосуде объемом $V = 2$ л под давлением $p = 200$ кПа. Масса газа $m = 0{,}5$ г.

127. Определите при температуре $T = 300$ К среднюю энергию $\langle\varepsilon_{вращ}\rangle$ вращательного движения одной молекулы, а также суммарную

кинетическую энергию $E_К$ всех молекул водорода, количество которого $\nu = 0{,}5$ моль.

128. При какой температуре газа T средняя энергия поступательного движения молекулы $\langle \varepsilon_{пост} \rangle = 4 \cdot 10^{-21}$ Дж?

129. В азоте при температуре $T = 400$ К взвешены мельчайшие пылинки, которые движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Масса одной пылинки $m = 5 \cdot 10^{-13}$ кг. Определите средние квадратичные скорости $\langle v_{кв} \rangle$ и средние энергии поступательного движения $\langle \varepsilon_{пост} \rangle$ молекулы азота и пылинки.

130. Определите среднюю энергию поступательного движения $\langle \varepsilon_{пост} \rangle$ и вращательного – $\langle \varepsilon_{вращ} \rangle$, а также среднее значение полной энергии $\langle \varepsilon \rangle$ молекулы азота при температуре $T = 500$ К.

Термодинамика: первый закон термодинамики в изопроцессах

131. Определите количество теплоты Q, которое нужно сообщить кислороду, занимающему объем $V = 50$ л, при его изохорном нагревании, чтобы давление газа повысилось на величину $\Delta p = 500$ кПа.

132. При изотермическом расширении азота массой $m = 0{,}2$ кг при температуре $T = 280$ К его объем V увеличился в два раза. Определите совершенную при расширении газа работу A, изменение внутренней энергии ΔU и количество теплоты Q, полученное газом.

133. Кислород массой $m = 0{,}16$ кг занимает объем $V_1 = 0{,}1$ м^3 при давлении $p_1 = 200$ кПа. При нагревании газ расширяется при постоянном давлении до объема $V_2 = 0{,}3$ м^3, а затем его давление возрастает до $p_2 = 500$ кПа при неизменном объеме. Постройте график процессов. Определите изменение внутренней энергии ΔU газа, совершенную им работу A и теплоту Q, переданную газу.

134. При изотермическом расширении водорода массой $m = 0{,}2$ кг при температуре $T = 300$ К его объем увеличился в 3 раза. Определите работу A, совершенную газом, изменение внутренней энергии ΔU и количество теплоты Q, полученное газом в этом процессе.

135. Азот массой $m = 0{,}1$ кг был изобарно нагрет от температуры $T_1 = 300$ К до температуры $T_2 = 400$ К. Определите работу A, совершенную газом, полученную им теплоту Q и изменение внутренней энергии азота ΔU.

136. Во сколько раз увеличится объем водорода, содержащий $\nu = 0{,}5$ моль газа, при изотермическом расширении, если при этом газ получит количество теплоты $Q = 800$ Дж? Температура водорода $T = 300$ К.

137. Какая доля ω_1 количества теплоты Q, подводимого к идеальному газу в изобарном процессе, расходуется на увеличение внутренней энергии

газа ΔU, и какая доля ω_2 – на работу A расширения газа? Рассмотрите три случая: 1) газ одноатомный, 2) газ двухатомный, 3) газ трехатомный.

138. Кислород массой $m = 16$ г содержится в сосуде под давлением $p_1 = 300$ кПа при температуре $T_1 = 300$ К; после изобарного нагревания объем газа увеличился до $V_2 = 0{,}01$ м^3. Определите количество теплоты Q, полученное газом, изменение его внутренней энергии ΔU и работу A, совершенную газом при расширении.

139. Определите работу A, которая совершается при изотермическом расширении водорода массой $m = 8$ г при температуре $T = 300$ К, если объем газа V увеличивается при этом в три раза?

140. В сосуде под поршнем находится азот массой $m = 1$ г. Какое количество теплоты Q требуется для нагревания этого газа на $\Delta T = 10$ К? На какую высоту h поднимется при этом поршень? Масса поршня $m_п = 1$ кг, его площадь $S = 10$ см^2. Давление воздуха снаружи $p_0 = 100$ кПа.

Электростатика. Напряженность и потенциал ЭСП точечного заряда. Принцип суперпозиции

141. Два точечных заряда $Q_1 = 7{,}5$ нКл и $Q_2 = -15$ нКл находятся на расстоянии $r = 5$ см друг от друга. Определите напряженность $\vec{E}$ поля и его потенциал φ в точке, находящейся на расстоянии $a = 3$ см от положительного заряда и $b = 4$ см – от отрицательного.

142. Два точечных заряда $Q_1 = -5{,}0$ нКл и $Q_2 = 10$ нКл находятся в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 5$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ ЭСП и его потенциал φ в третьей вершине.

143. Два точечных заряда $Q_1 = 15$ нКл и $Q_2 = -10$ нКл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 15$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ ЭСП и его потенциал φ в третьей вершине.

144. Два точечных заряда $Q_1 = 5$ нКл и $Q_2 = -15$ нКл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 25$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ ЭСП и его потенциал φ в третьей вершине.

145. Три точечных заряда $Q_1 = 5$ нКл, $Q_2 = -8$ нКл и $Q_3 = 3$ нКл находятся в трех вершинах квадрата со стороной $a = 5$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ поля и его потенциал φ в четвертой вершине.

146. Три точечных заряда $Q_1 = -15$ нКл, $Q_2 = 5$ нКл и $Q_3 = 10$ нКл находятся в трех вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ ЭСП и его потенциал φ в четвертой вершине.

147. Три точечных заряда $Q_1 = 15$ нКл, $Q_2 = -10$ нКл и $Q_3 = 5$ нКл находятся в трех вершинах квадрата со стороной $a = 5$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ поля и его потенциал φ в четвертой вершине.

148. В вершинах шестиугольника со стороной $a = 5$ см находятся три положительных и три отрицательных заряда величиной $Q = 1{,}5$ нКл. Определите напряженность $\vec{E}$ потенциал поля φ в центре шестиугольника при любом выбранном расположении зарядов.

149. Три точечных заряда $Q_1 = 5$ нКл, $Q_2 = -10$ нКл и $Q_3 = 5$ нКл расположены в трех вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ поля и его потенциал φ в центре квадрата.

150. Три точечных заряда $Q_1 = -15$ нКл, $Q_2 = 10$ нКл и $Q_3 = 5$ нКл расположены в трех вершинах квадрата со стороной $a = 15$ см. Определите напряженность $\vec{E}$ поля и его потенциал φ в центре квадрата.

Постоянный электрический ток

151. При измерении мультиметром постоянного напряжения в диапазоне до $U_0 = 20$ мВ сопротивление прибора $R_V = 0{,}1$ кОм. Какие сопротивления R_i используются в приборе и как они подключаются к сопротивлению R_V, чтобы переключать диапазон измерений прибора на напряжения U_i, равные 2 и 600 В?

152. При измерении мультиметром постоянного тока в диапазоне до $I_0 = 0{,}2$ мА сопротивление прибора $R_\text{А} = 1$ Ом. Какие сопротивления R_i используются в приборе и как они подключаются к сопротивлению $R_\text{А}$, чтобы переключать диапазон измерений прибора на токи I_i, равные 20 мА и 10 А?

153. Батарея с ЭДС $\mathcal{E} = 240$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом замкнута на внешнее сопротивление $R = 23$ Ом. Определите полную мощность источника тока P_0, полезную мощность P и КПД батареи η.

154. Источник тока замыкают сначала на внешнее сопротивление $R_1 = 2$ Ом, а затем на внешнее сопротивление $R_2 = 0{,}5$ Ом. Определите ЭДС $\mathcal{E}$ источника тока и его внутреннее сопротивление r, если в обоих случаях во внешней цепи выделяется одинаковая мощность $P = 2{,}54$ Вт.

155. Нагреватель электрического чайника имеет две секции. При включении одной из них вода в чайнике закипает за время $t_1 = 15$ мин, а при включении другой секции – через $t_2 = 30$ мин. За какой промежуток времени t закипит вода в чайнике, если соединить обе секции: а) последовательно, б) параллельно?

156. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 80$ В, ее внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определите силу тока в цепи, напряжение, под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление.

157. Генератор постоянного тока питает 10 параллельно соединенных ламп сопротивлением $R = 210$ Ом каждая. Напряжение на зажимах

генератора $U = 216$ В, его внутреннее сопротивление $r = 0{,}2$ Ом, а сопротивление подводящей линии $R_Л = 0{,}6$ Ом. Определите силу тока I в линии и ток I_1 – в каждой лампе, ЭДС генератора $\mathcal{E}$ и полезную мощность P.

158. Генератор постоянного тока развивает ЭДС $\mathcal{E} = 150$ В. Ток в цепи $I = 5$ А. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 0{,}5$ Ом. Найдите мощность P, передаваемую потребителю, КПД η и ток короткого замыкания $I_{КЗ}$ источника тока, если ток подводится к потребителю по двухпроводной линии длиной $l = 500$ м. Провод линии алюминиевый сечением $S = 5$ мм^2, температура проводов $t = 50$ °C. Удельное сопротивление Al при температуре $t_0 = 0$ °C: $\rho_0 = 2{,}5 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

159. Определите мощность P, которая выделяется во внешней цепи, состоящей из двух резисторов, сопротивлением R каждый, если на резисторах выделяется одинаковая мощность P, как при последовательном, так и при параллельном соединении. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 12$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом.

160. Источник тока замыкают сначала на внешнее сопротивление $R_1 = 9$ Ом, а затем на внешнее сопротивление $R_2 = 4$ Ом. В обоих случаях за равное время t на каждом сопротивлении выделяется одинаковое количество теплоты Q. Определите внутреннее сопротивление r источника тока.

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО МЕХАНИКЕ, МФ и ТД

3.1. ВВЕДЕНИЕ В ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

3.1.1. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Результат измерения и погрешности

Измерением называют нахождение значения физической величины опытным путём с помощью технических средств. По способу выполнения различают прямые и косвенные измерения. *В прямых измерениях* величину определяют по шкале прибора, например, секундомера при измерении времени или амперметра при измерении тока. *В косвенных измерениях* результат вычисляют по формулам, используя данные прямых измерений. Так, например, ускорение a определяют по формуле $a = \frac{2s}{t^2}$, где путь s и время движения t измеряют непосредственно.

Результат всегда получают с некоторой погрешностью, и в любом измерении находят не истинное значение величины, а лишь близкое к нему. Поэтому результат измерения величины x записывают как *доверительный интервал*:

$$x = \bar{x} \pm \Delta_x \quad \text{с доверительной вероятностью } P = \cdots .$$

Здесь $\bar{x}$ – среднее арифметическое для N измеренных значений: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$; Δ_x – абсолютная погрешность измеряемой величины, равная разности измеренного $\bar{x}$ и истинного значения x, которое неизвестно:

$$\Delta_x = \bar{x} - x.$$

Например:

$$x = (25 \pm 2) \text{ мм}; \quad P = 0{,}70.$$

Это означает, что истинное значение величины x находится, в пределах от 23 до 27 мм с вероятностью $P = 0{,}70$; при этом остается равная 0,3 (или 30%) вероятность, того, что истинное значение x близко к $\bar{x}$, но лежит вне указанного интервала.

Величина абсолютной погрешности не показывает точности измерения; так, при одинаковой абсолютной погрешности $\Delta_l = 1$ м двух измерений длин: $l_1 = 10$ м и $l_2 = 1000$ м, – второе отличается гораздо большей точностью. Таким образом, для оценки точности измерения абсолютную погрешность Δ_l сравнивают с измеряемой величиной l; при этом вычисляется *относительная погрешность* δ_x, как отношение, по формуле:

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{\bar{x}} \cdot 100\ \%.$$

Систематические и случайные погрешности

В зависимости от причин появления погрешности разделяют на систематические и случайные.

Систематические погрешности Δ_s вызываются факторами, которые действуют одинаково в ряде измерений. Величина и знак этих погрешностей остаются постоянными или изменяются закономерно при повторении измерений. К систематическим относят погрешности измерения времени, если секундомер отстаёт (или спешит), погрешности отсчёта по прибору, у которого начальное положение стрелки не совпадало с нулём шкалы. *Систематические погрешности можно исключить* путём поверки приборов по эталонам и введением поправок.

Случайные погрешности Δ обусловлены нерегулярно действующими факторами или совокупностью случайных причин. Случайные погрешности нередко связаны с изменением свойств объекта измерения, с колебаниями температуры или напряжения источника питания. В ряде однотипных измерений случайные погрешности беспорядочно изменяются по величине и знаку. *Случайную погрешность оценивают по разбросу результатов* в повторных измерениях. Простейшую оценку выполняют по формуле

$$\Delta_x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2},$$

где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ – максимальное и минимальное числа из ряда значений величины, полученных при повторных измерениях.

Доверительный интервал, записанный с такой погрешностью, содержит истинное значение с вероятностью

$$P = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{N-1}.$$

Эта доверительная вероятность P зависит от числа измерений N.

Разновидностью случайной погрешности является *промах* – это грубая погрешность, вызванная нарушением условий эксперимента. Как правило, промахом является неверный отсчёт по шкале прибора, неправильная запись числа или ошибка в вычислениях. Обычно, промах резко отличается по величине от других значений, и при обработке опытных данных его отбрасывают. Нужно иметь в виду, что промах можно заметить только при повторении измерений, поэтому не следует ограничиваться одним измерением.

Приборная погрешность

Анализируя источники погрешностей, выделяют следующие из них: измерительные приборы, объект измерения и установка, операция вычисления результата.

Показание прибора отличается от истинного значения измеряемой величины, и это отклонение принято называть *приборной* погрешностью. Она включает в себя *погрешность отсчёта* в результате округления до ближайшего деления шкалы и *погрешность показаний*, связанную с несовершенством прибора (неравномерность делений шкалы, люфт

и трение в подвижных частях). При аккуратном выполнении измерений погрешностью отсчёта можно пренебречь. Погрешность показаний прибора приводится в паспорте или определяется по классу точности прибора. В том и в другом случаях указывают максимальное значение, которое называют *предельной* приборной погрешностью, ей соответствует доверительная вероятность P =0,997.

Класс точности прибора γ показывает относительную предельную погрешность (в процентах) для наибольшего измеряемого значения $x_{\max}$, равного пределу шкалы:

$$\gamma = \frac{\Delta_{sx}}{x_{\max}} \cdot 100\ \%,$$

где Δ_{sx} – *абсолютная приборная погрешность* измеряемой величины x. Например, амперметр класса точности 0,5 имеет шкалу с пределом 2 А. Любое показание этого прибора, согласно формуле, содержит одну и ту же абсолютную приборную погрешность Δ_{sI}= 0,01 А. При этом относительная погрешность δ_x, выраженная в процентах, определяется формулой

$$\delta_x = \frac{\Delta_{sx}}{x}; \qquad \text{или} \qquad \delta_x = \gamma \frac{x_{\max}}{x}.$$

Величина погрешности δ_x тем меньше, чем ближе к пределу шкалы измеряемая величина. А значит, показания в правой части шкалы более точные, чем в её начале. Это следует иметь в виду, при выборе диапазона прибора при измерениях.

Если класс точности и паспортные данные прибора неизвестны, то *приборную погрешность принимают равной цене деления шкалы.*

Вычисления и запись результата

При вычислениях и графической обработке результатов измерений могут появиться *погрешности вычислений*. Вероятность их появления уменьшается, если следовать некоторым простым правилам.

Перед расчётом исходные числа округляют, оставляя в каждом на одну значащую цифру больше, чем у наименее точного числа; столько же значащих цифр оставляют в результате. Например, записывают $A = 2{,}3 \cdot 0{,}35787 \approx 2{,}3 \cdot 0{,}358 = 0{,}823$.

Результат вычисления записывают с точностью до двух или трех (не более) значащих цифр. *Значащими являются все верные цифры числа, кроме нулей, стоящих перед первой ненулевой цифрой* (заметим, что значащие цифры могут быть записаны как до запятой, так и после нее). Незначащие нули записывают в виде сомножителя $10^{\pm n}$.

В погрешности Δ_x указывают обычно *одну значащую цифру* (две только в том случае, если первая равна 1), так как погрешность оценки погрешности, как правило, более 50 %.

Результат измерения записывают *в виде доверительного интервала*, вынося за скобку множитель $10^{\pm n}$, который показывает порядок измеряемой величины. При этом среднее значение величины округляют так, чтобы последние цифры величины и погрешности были в одном разряде. Например, величина момента инерции маятника

$$I = (3{,}24 \pm 0{,}6) \cdot 10^{-2}\ \text{кг} \cdot \text{м}^2. \quad \delta_I = 20\ \%.$$

Представление результатов измерений в виде таблиц

Результаты измерений представляют в виде таблиц, графиков и уравнений. В каждом эксперименте необходимо *сразу же записывать* результаты измерений аккуратно *в заранее заготовленные таблицы*. Записи в таблице должны быть удобны для чтения и обработки, что достигается выполнением ряда правил.

1. Значения каждой величины записывайте в соответствующий столбец *одно под другим* так, чтобы одинаковые разряды чисел и запятые располагались на одной вертикали: так легче сопоставить числа. Избегайте исправления цифр: это затрудняет чтение. Лучше зачеркнуть неверные цифры, а правильные написать рядом.

2. *В заголовке таблицы* для каждого столбца указывают *обозначение величины и через запятую её единицу*. Не нужно писать единицы величин в каждой строке таблицы: это потеря времени и загромождение записи. Данные прямых измерений и приборные погрешности записывают в единицах шкалы приборов, а результаты расчёта приводят обычно в единицах СИ.

3. Для сокращения записи чисел и*спользуют десятичный множитель* $10^{\pm n}$. Его величину часто берут соответствующей краткой приставке (микро-, мили-, кило- и т. п.). Этот *множитель*, общий для всех значений в столбце, *указывают вместе с единицей величины в заголовке таблицы*. При этом используют два разных варианта записи множителя. Примеры приведены в таблице, где записана вязкость газов двумя способами.

Первый способ, при котором после символа величины ставят запятую, а множитель относят к единице величины (η, 10^{-5} Па·с), воспринимается естественно и *является предпочтительным*.

Второй способ нередко встречается в справочных таблицах, и при их чтении нужно обращать внимание, нет ли знака умножения. Так, запись $\eta \cdot 10^5 = 1{,}7$ Па·с означает, что $\eta = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ Па·с .

Газ	Вязкость η, 10^{-5} Па·с	Вязкость $\eta \cdot 10^5$, Па·с
Воздух	1,72	1,72
Водород	0,84	0,84

3.1.2. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Построение графиков

Назначение графика – наглядно представить результаты опыта при изучении зависимости одной величины от другой. График позволяет увидеть особенности исследуемой зависимости, выявить ее характер (линейная, квадратичная или экспоненциальная) и определить параметры. Все это становится доступным при грамотном применении графического метода, а для этого необходимо следовать определенным правилам построения графиков и использовать методы их обработки.

1. **Выбор координатных осей**. График выполняют на листе миллиметровой бумаги размером $\sim 150 \times 150$ мм; координатные оси берут примерно равной длины. *Горизонтальная ось отводится аргументу*, т. е. величине, значение которой задает сам экспериментатор, а *вертикальная ось – функции*. В конце каждой оси указывают символ величины, десятичный множитель и единицу величины. При этом *десятичный множитель* $10^{\pm n}$ позволяет опустить нули при нанесении шкалы, например, писать 1; 2; 3 ... вместо 0,001; 0,002 и т.д.
2. **Выбор интервалов**. Интервалы чисел *на каждой оси* выбирают *независимо друг от друга*, причем такие, чтобы кривая заняла все поле чертежа. Для этого границы интервалов берут близкими к наименьшему и наибольшему среди измеренных значений. Подчеркнем, что начало отсчета часто начинают не с нуля. Нулевую точку помещают на график лишь в том случае, если она близка к экспериментально исследованной области или необходима экстраполяция на нулевое значение.
3. **Выбор масштабов и шкалы**. Масштаб должен быть простым и удобным для нанесения точек на график. За единицу масштаба принимают отрезок оси, кратный 5, 10, 50 или 100 мм, что позволяет легко отсчитывать доли отрезка. Такому отрезку соотносят "круглое" число (1, 2, 5) единиц измеряемой величины. *Деления шкалы на каждой оси подбирают независимо*, в соответствии с масштабом, причем надписи делений наносят вдоль всей оси. Чтобы шкала легко читалась, *достаточно указать на оси 3–5 чисел*.
4. **Нанесение точек**. Опытные данные наносят на поле графика в виде четких значков, *не подписывая их численные значения* – они приводятся *только в таблице*. Разные значки (светлые и темные кружки, треугольники и др.) используют для обозначения данных, относящихся к различным условиям.
5. **Проведение экспериментальной кривой**. Кривую проводят *плавной, непрерывной линией* (таковы обычно физические зависимости) так,

чтобы точки находились равномерно по обе стороны кривой как можно ближе к ней. Если вид зависимости известен заранее, то проводят эту теоретическую кривую.

Для линейной зависимости: *прямую проводят через среднюю точку*, координаты которой определяют по следующим формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}; \qquad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{N}.$$

Здесь записаны суммы N слагаемых измеренных величин; N – общее число точек на графике.

6. **Заголовок графика**. График сопровождают названием зависимости, в котором *называют символы величин*, указанные в конце осей. Кроме того, в подписи к графику разъясняют обозначения опытных точек и кривых, если их несколько. Заголовок принято располагать выше графика, либо под графиком.

Графический анализ опытных данных

Сравнение с теорией. Функциональные шкалы

Для проверки теоретической зависимости на график наносят опытные точки (нередко с указанием их погрешности в виде $\overset{\mathrm{I}}{\circ}$–$\Delta_Y$), а теоретическую кривую проводят через точки, рассчитанные по уравнению. Если теория дает лишь вид зависимости, а параметры ее неизвестны и их надлежит определить из опыта, то экспериментальную зависимость стараются привести к линейному виду (так как параметры прямой найти проще). С этой целью при построении графика по осям откладывают не сами измеренные величины, а такие функции этих величин, которые позволяют *линеаризовать зависимость*. Рассмотрим пример.

Опыт показывает, что электрическое сопротивление полупроводника снижается с ростом температуры нелинейно. Чтобы выбрать координаты, в которых зависимость линеаризуется, обратимся к теории. Согласно квантовой теории твердого тела сопротивление истинного полупроводника меняется с температурой по закону $R = A \cdot \exp\left(\frac{\Delta W}{2kT}\right)$. Логарифмируя это уравнение, получаем зависимость $\ln R = \ln A + \frac{\Delta W}{2kT}$, которая представится на графике в виде прямой $y = b + Kx$, если обозначить $y = \ln R$, $x = \frac{1}{T}$. Определяя параметры этой прямой $b = \ln A$ и $K = \frac{\Delta W}{2k}$, можно найти характеристики полупроводника A и ΔW.

Определение параметров линейной зависимости

Известны два наиболее распространенных метода:

– приближенный метод определения параметров прямой, использующий отрезки, отсчитанные по шкале на осях графика;

– метод наименьших квадратов (МНК).

Приближенный метод

Пусть измеренные величины y и x связаны линейной зависимостью вида $y = Kx + b$ и требуется определить ее параметры K и b.

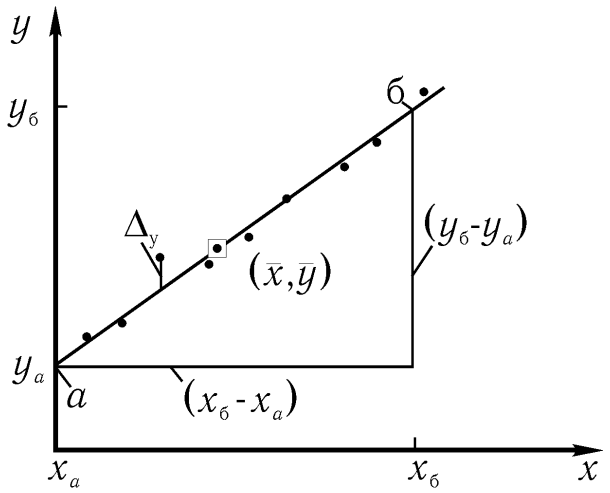


Рис. 1. Определение параметров K и b

Для этого опытные точки наносят на график и проводят прямую линию, руководствуясь правилами построения графика. На концах линии выбирают две произвольные точки ***a*** и б, удобные для расчета. Чтобы снизить погрешность отсчета по графику и упростить расчет углового коэффициента K, удобно точку ***a*** взять на одной из осей, а точку б – так, чтобы отрезок $(x_б - x_a)$ выражался целым числом.

Среднее значение углового коэффициента K вычисляют как отношение, определяющее наклон прямой:

$$\bar{K} = \frac{(y_б - y_a)}{(x_б - x_a)}.$$

Параметр b линейной зависимости находят по графику как ординату точки пересечения прямой с осью y. Величину b можно найти и по уравнению прямой, подставляя координаты средней точки графика:

$$b = \bar{y} - \bar{K} \cdot \bar{x}.$$

Случайные погрешности параметров определяются разбросом опытных точек по отношению к проведенной прямой. Для простейшей оценки этих погрешностей достаточно найти на графике величину Δ_y – отклонение наиболее удаленной точки от прямой линии, и $(y_N - y_1)$ – интервал, в котором сделаны измерения (длина оси y).

Абсолютная случайная погрешность параметра b: $\Delta_b = \Delta_y$.

Для углового коэффициента прямой линии K *сначала вычисляют относительную погрешность:*

$$\delta_K = \frac{\Delta_y}{(y_N - y_1)} \cdot 100\ \%.$$

Эта формула привлекает тем, что при расчете отношения величин одного рода можно взять их в любых единицах (всего удобнее – в малых делениях шкалы оси y). Напомним, что в величине погрешности имеет значение, как правило, одна цифра, а потому достаточная точность отсчета отрезка $(y_N - y_1)$ – "круглое число", например, 90, 100 или 120 мм (или 10 – 15 клеток масштабной бумаги).

Затем находят абсолютную погрешность средней величины $\overline{K}$:

$$\Delta_K = \frac{\delta_K \cdot \overline{K}}{100\,\%},$$

чтобы записать доверительный интервал для искомого параметра K:

$$K = \overline{K} \pm \Delta_K.$$

Доверительная вероятность P в описанном методе оценки погрешностей (по максимальному отклонению Δ_y) зависит от числа опытных точек N – чем больше число N, тем выше надежность результата:

$$P = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{N-1}.$$

3.2. Темы лабораторных работ

Таблица 6

Название работы	Номер работы в учебном пособии
1. Изучение динамики вращательного движения	3
2. Определение ускорения свободного падения с помощью оборотного и математического маятников	7
3. Определение отношения теплоемкостей воздуха	12

3.3. Подготовка к выполнению лабораторных работ

Методические указания к выполнению лабораторных работ: описание метода измерений, лабораторного стенда, порядок выполнения ЛР и обработки результатов измерений, – содержатся в следующем учебном пособии:

Механика и молекулярная физика: учебное пособие к выполнению лабораторных работ / В.К. Герасимов, А.Е. Гришкевич, С.И. Морозов и др.; под ред. В.П. Бескачко. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 95 с.

Данное учебное пособие можно найти по следующему электронному адресу: ***http://physics.susu.ac.ru/data/mechanics.pdf.***

При подготовке к лабораторной работе настоятельно рекомендуем заполнить некоторые разделы бланка отчета по каждой ЛР (до таблиц опытных данных): *цель работы, описание установки и метода измерений (включая название величин, входящих в расчетные формулы)*. Это позволит Вам получить представление о лабораторной работе и, благодаря этому, избежать ненужных ошибок при проведении эксперимента в физической лаборатории.

Перед выполнением лабораторных работ необходимо изучить раздел 4.1 «Введение в лабораторный практикум по физике» (с. 37-44) – п. п. 4.1.1. Проведение лабораторного эксперимента и 4.1.2. Графическое представление и обработка результатов измерений.

3.3.1. Рекомендации к выполнению лабораторных работ

Основные правила техники безопасности

1. К выполнению работ студент может приступить после прохождения инструктажа по проведению лабораторных работ и усвоения безопасных методов их выполнения, о чём студент расписывается в журнале по технике безопасности. Эта подпись является также обязательством восстановить оборудование, вышедшее из строя по вине студента.
2. Перед выполнением работы необходимо тщательно изучить ее описание.
3. Работы следует выполнять на исправных установках.
4. Измерительные приборы и инструмент необходимо использовать только по их прямому назначению.
5. Приборы и лабораторные установки можно включать лишь *после разрешения преподавателя*.

Правила проведения эксперимента

1. При каждом измерении устраняйте возможные систематические погрешности (см. п. 4.1.1).
2. Результаты измерений и расчетов *записывайте карандашом в таблицы* бланка отчета (а не на отдельные листки). При этом любое записанное *число округляйте до трех значащих цифр* и записывайте в виде $a \cdot 10^{\pm n}$, где величину a выбирайте в интервале (0,5…5,0) (при этом показатель степени n показывает порядок числа). В том случае, если значения измеряемой величины в данном столбце (или строке) таблицы имеют одинаковый множитель $10^{\pm n}$, этот *множитель выносят в заголовок таблицы*, а в столбце оставляют только сомножители a_i.

Данные прямых измерений *перед проведением расчетов* необходимо а) проанализировать с целью выявления промахов, б) затем показать преподавателю.

3. *Первый из результатов косвенного измерения* (расчета) каждой величины запишите в отчет с полной подстановкой всех исходных значений в расчетную формулу, переводя их в систему СИ (при этом не забудьте выписать из заголовка таблицы множители величин $10^{\pm n}$).

Результаты расчетов, по мере их получения, вносите в таблицу. По окончании расчетов: перед построением графика или написанием вывода по работе, – *полученные результаты покажите преподавателю.*

3.3.2. Рекомендации к оформлению отчета по лабораторной работе

Каждый студент оформляет отчёт по опытным данным. Отчёт выполняется согласно стандарту СТП ЧПИ 05-87 "Лабораторные работы. Общие требования к оформлению отчёта", который имеется в отделе нормативно-технической документации библиотеки. Титульный лист заполняют на 1-й странице следующим образом.

ЮУрГУ
Кафедра общей и теоретической физики

Отчёт
по лабораторной работе № 11

"Измерение коэффициента теплопроводности воздуха"

ЗИЭФ – 123
Лебедев М. С. (Ф. И. О. студента
в именительном падеже)

23.12.15 (дата выполнения работы)

Отчёт содержит следующие разделы:
Цель работы (дана в описании каждой работы);
Схема установки принципиальная, с необходимыми пояснениями;
Основные расчётные формулы с пояснением величин;
Результаты прямых измерений (в таблицах);
Расчеты результатов косвенного измерения;
Оценка погрешности измеряемых величин;
Графики, построенные на миллиметровой бумаге по правилам (см. п.4.1.2);
Вывод – это краткое заключение о результатах, *согласно цели работы*.

Вывод, как правило, включает в себя:

1) основные численные результаты измерений с указанием их точности (относительной погрешности).
2) Анализ результатов:

- сравнение опытных зависимостей (графиков) с теоретическими кривыми,
- сравнение полученных экспериментальных значений с табличными величинами и сопоставление их расхождений с точностью измерений.

3.3.3. Бланки отчетов по лабораторным работам

Эти ***бланки отчетов необходимо иметь*** при выполнении лабораторных работ *В ЛАБОРАТОРИИ МЕХАНИКИ* – в ауд. 245, ГУК *во время зимней экзаменационной сессии*, по расписанию занятий группы.

Бланки отчетов ***можно распечатать с данного сайта***, начиная со следующей страницы.

Южно-Уральский Государственный Университет
Кафедра общей и теоретической физики

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

Выполнил(а)_____

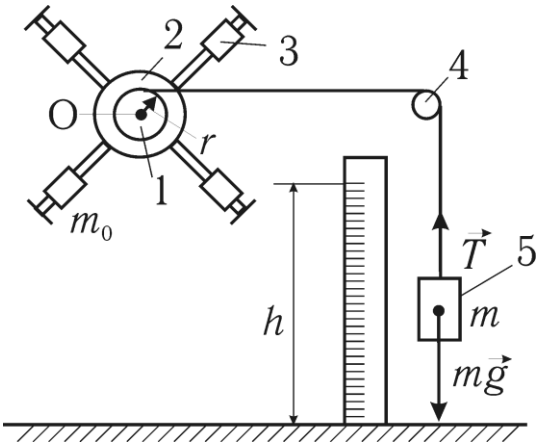
гр. _____
“_____”_____20___г.

Проверил _____

“_____”_____20___г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

СХЕМА УСТАНОВКИ



1 и 2 –

3 –

4 –

5 –

Ускорение, с которым падает груз: $a = \frac{2h}{t^2} =$ $=$

Угловое ускорение вращающегося маятника: $\alpha = \frac{2h}{rt^2} =$ $=$

Момент силы, действующий на маятник: $M = m(g - a)r =$

Закон динамики для маятника Обербека: $I\alpha = M - M_{тр}$,
где $M_{тр}$ – момент сил трения.

Задание 1. Изучение закона вращения маятника

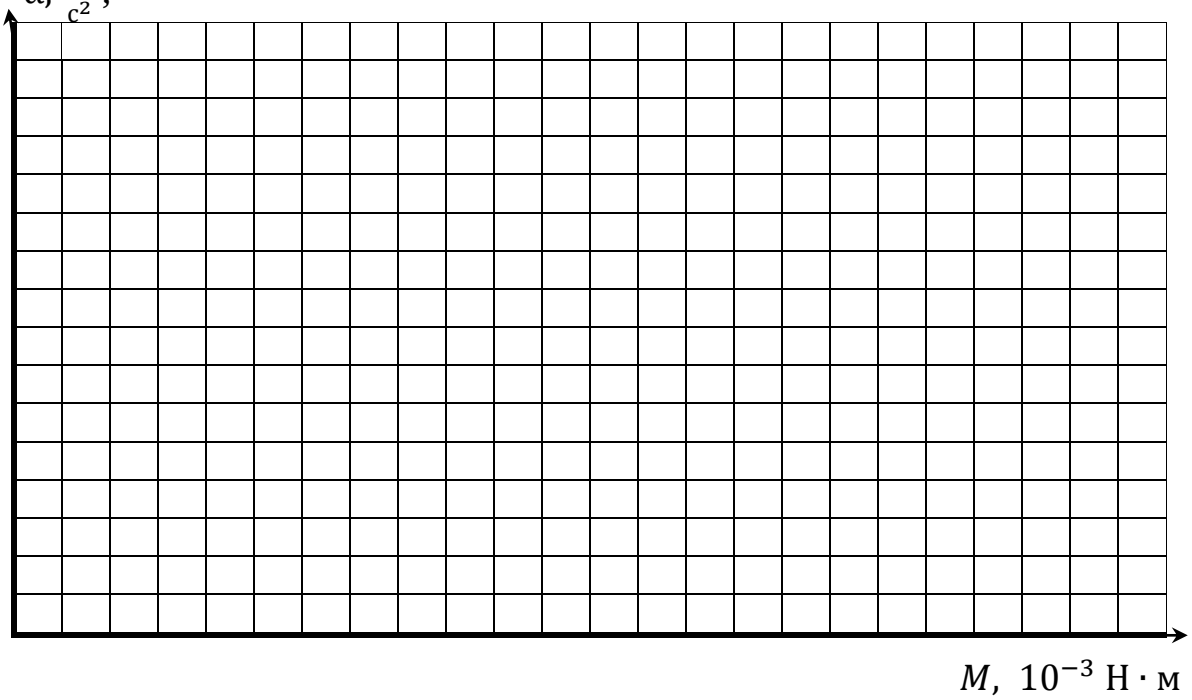
ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

$h =$ м;					
r, мм	№	m, кг	t, с	$M, 10^{-3}$ Н · м	α, $\frac{рад}{с^2}$,
$r_1 =$	1				
	2				
	3				
	4				
$r_2 =$	5				
	6				
	7				
	8				
Координаты средней точки (для графика)					

Зависимость углового ускорения маятника α от момента сил M

$\alpha, \frac{рад}{с^2}$;



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

Расчет момента инерции (**<u>по графику</u>** $\alpha = f(M)$)

$$I_{\text{эксп}} = \frac{\Delta M}{\Delta\alpha} = \frac{M_{\text{б}} - M_{\text{а}}}{\alpha_{\text{б}} - \alpha_{\text{а}}} = \text{———————} = \qquad \text{кг} \cdot \text{м}^2 = \qquad \cdot 10^{-2}\ \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

ВЫВОД

Задание 2. Исследование зависимости момента инерции от распределения массы относительно оси вращения

ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

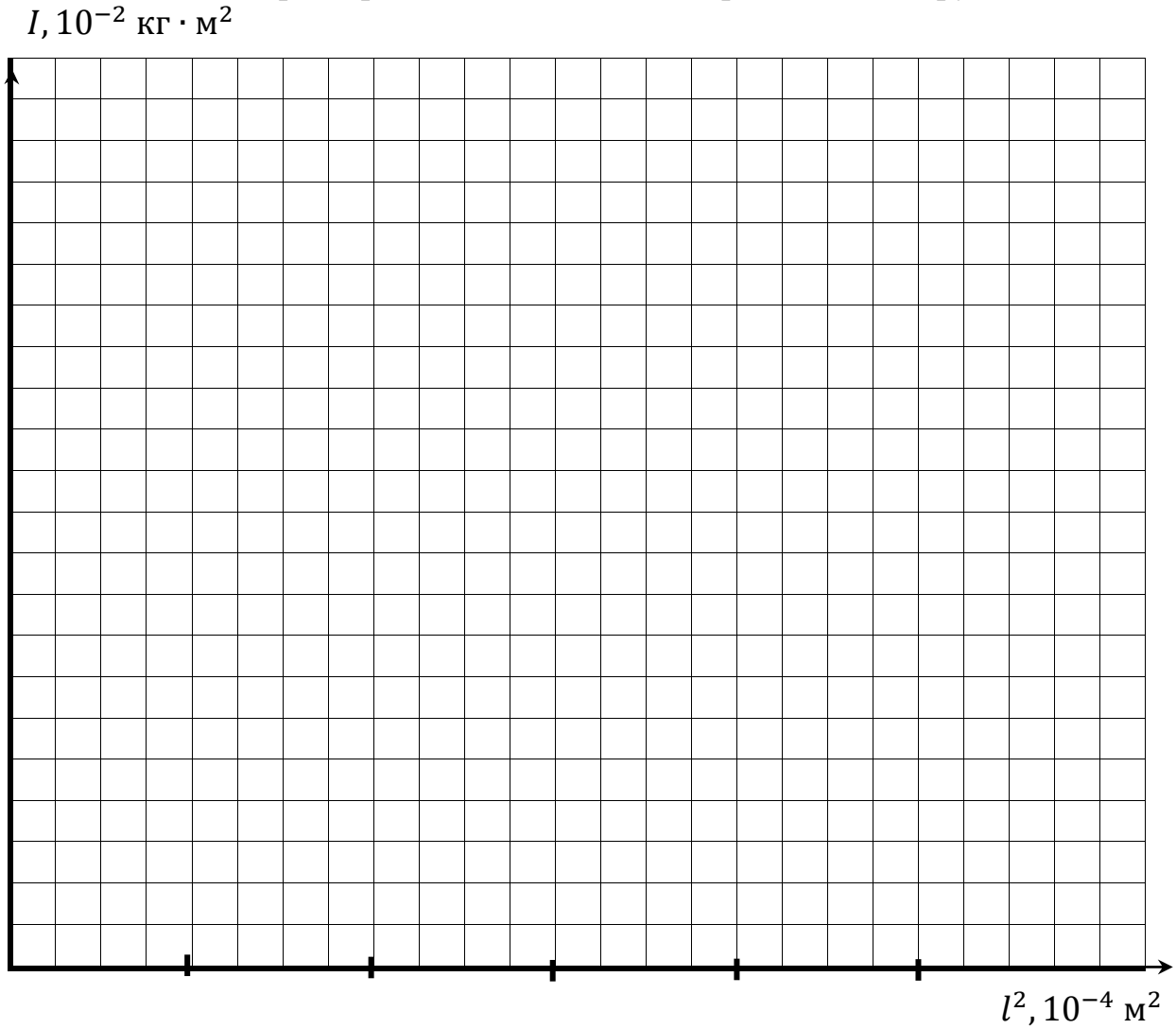
Таблица 2

$h =$ м; $m =$ кг; $r =$ мм;				
№	l, см	t, с	l^2, см^2	I, 10^{-2} кг · м^2
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
Координаты средней точки (для графика)				

Расчет момента инерции для построения графика $I = f(l^2)$:

$$I = \frac{M}{\alpha} = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right) = \qquad = \qquad \cdot 10^{-2}\ \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

Зависимость момента инерции маятника I
от квадрата расстояния l^2 от оси вращения до грузов



Определяем **по графику** $I = f(l^2)$:

Момент инерции крестовины $I_{\text{кр}}$
(путем экстраполяции опытной прямой линии до расстояния $l^2 = 0$):

$$I_{\text{кр}} = \qquad 10^{-2}\ \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

Масса подвижных грузов m_0
(по угловому коэффициенту K опытной прямой линии: $K = 4m_0$):

$$K = \frac{\Delta I}{\Delta l^2} = \frac{I_{\text{б}} - I_{\text{а}}}{l^2{}_{\text{б}} - l^2{}_{\text{а}}} = \frac{\qquad\qquad}{} = \qquad \text{кг.}$$

$$m_0 = \frac{K}{4} = \qquad \text{кг.}$$

ВЫВОД

Южно-Уральский Государственный Университет
Кафедра общей и теоретической физики

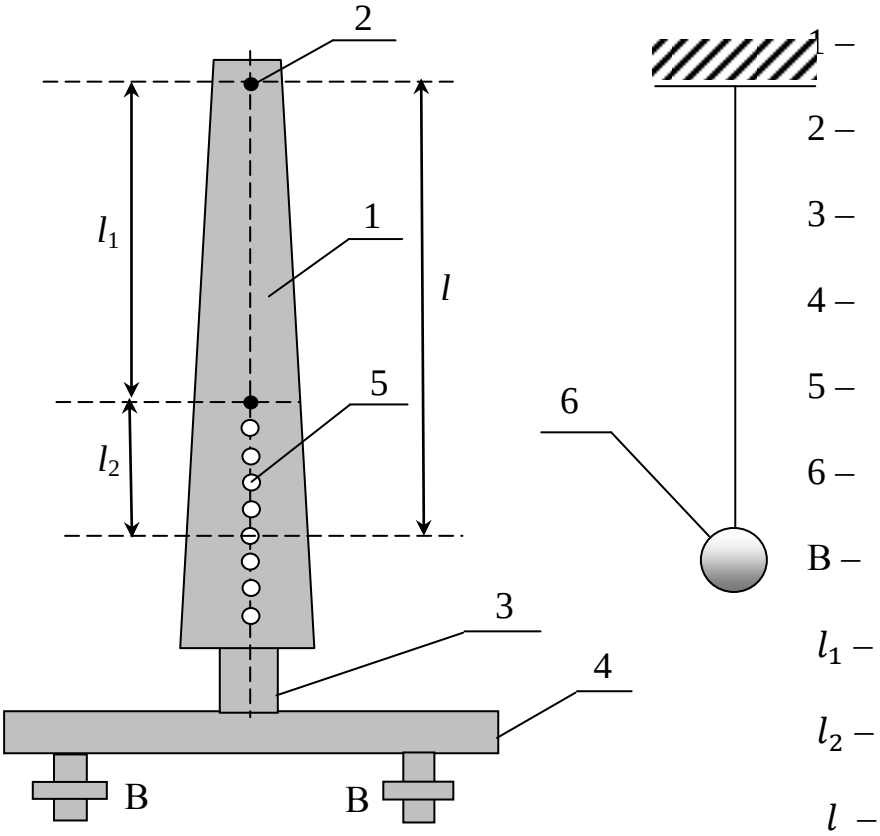
Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

Выполнил(а)_____
гр. _____
“_____”_____20___г.
Проверил _____
“_____”_____20___г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

СХЕМА УСТАНОВКИ



МЕТОД ИЗМЕРЕИЙ

а) оборотный маятник

$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0+ml_1{}^2}{mgl_1}}$; и $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0+ml_2{}^2}{mgl_2}}$; –

I_0 –

m –

$T_1 = T_2 = T_0$ –

$l_1 = l_2 = l_0$ –

Расчетная формула: g= $\frac{4\pi^2 l_0}{T_0{}^2}$;

б) математический маятник

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$; → расчетная формула: g= $\frac{4\pi^2 l}{T^2}$;

Задание 1. Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}};$$

ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

l, м	t, с	N	T, с

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \text{———————} = \qquad \frac{м}{с^2}.$$

Оценка погрешности измерений поводится сравнением полученного результата с табличным значением $g_{табл} = 9{,}80\ \frac{м}{с^2}$:

$$\Delta g = g - g_{табл} =$$

Задание 2. Определение ускорения свободного падения с помощью оборотного маятника

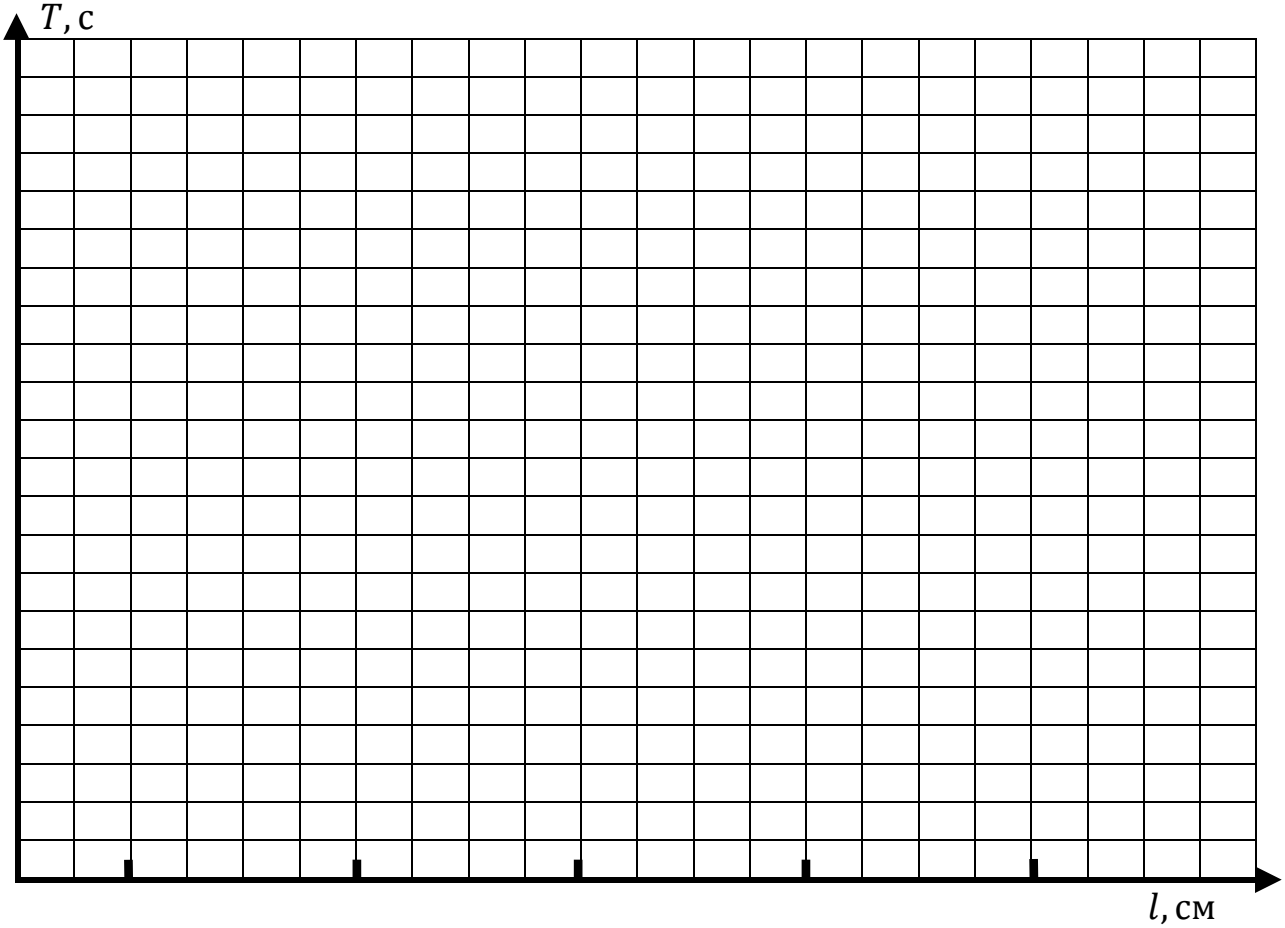
ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 2

t_1, с	T_1, с	№	l, м	t_2, с	T_2, с	$N =$
		1				
		2				
		3				По графику $T = f(l)$ определяем:
		4				
		5				
		6				
		7				$l_0 =$ см;
		8				$T_0 =$ с;
		9				
		10				
		11				
		12				
		13				

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Зависимость периодов колебаний T_1 и T_2 оборотного маятника от расстояния l между осями



РАСЧЕТ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

$$g = \frac{4\pi^2 l_0}{{T_0}^2} = \text{———————} = \qquad \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

проводится сравнением полученного результата с табличным значением $g_{\text{табл}} = 9{,}80\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$:

$$\Delta g = g - g_{\text{табл}} =$$

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ

Ускорение свободного падения

$$g = g_{\text{эксп}} \pm \Delta g; \qquad \rightarrow \qquad g = (\qquad \pm \qquad)\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

ВЫВОД

Южно-Уральский Государственный Университет
Кафедра общей и теоретической физики

Лабораторная работа № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА

Выполнил(а)_____

гр. _____

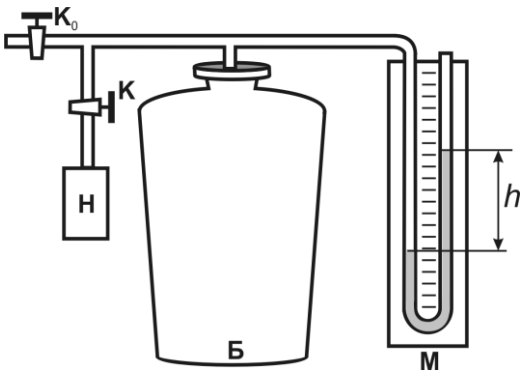
. “____”_____ 20___г.

Проверил _____

. “____”_____ 20___г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

СХЕМА УСТАНОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ



H –

h –

K –

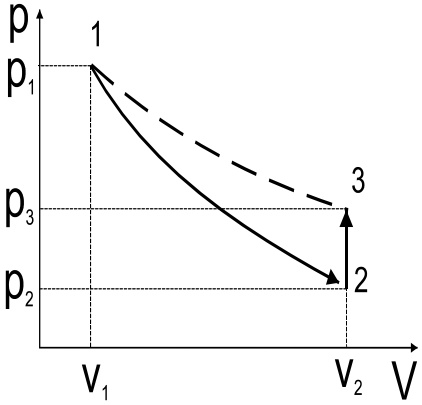
K_0 –

Б –

М –

Н –

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ



Состояния воздуха на диаграмме $p - V$:

1 – начальное состояние газа перед адиабатическим расширением;
2 – состояние газа сразу после адиабатического расширения;
3 – состояние воздуха после нагрева воздуха, охлажденного в процессе 1-2.

Уравнения процессов на диаграмме $p - V$:

$$p_1 V_1{}^{\gamma} = p_2 V_2{}^{\gamma}; \qquad p_1 V_1 = p_3 V_3;$$

Связь давлений воздуха с показаниями манометра h и H:

$$p_1 = p_2 + \rho g H; \qquad p_3 = p_2 + \rho g h.$$

Соотношение показания манометра h (в состоянии 3 на диаграмме) для равновесного адиабатического процесса 1-2 и измеряемых h' показаний манометра после процессов 1-2, протекающих в течение времени t:

$$h' = h e^{-\alpha t},$$

где α – постоянная установки.

Расчетная формула величины отношения теплоемкостей воздуха γ:

$$\gamma = \frac{H}{H-h}.$$

Задание 1. Изучение изопроцессов в газе

ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

ПРОЦЕСС	НАЗВАНИЕ И НАПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА (СЖАТИЕ ИЛИ РАСШИРЕНИЕ НАГРЕВАНИЕ, ИЛИ ОХЛАЖДЕНИЕ)	СООТНОШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА В БАЛЛОНЕ $p_i,\ T_i$ И В ЛАБОРАТОРИИ $p_л,\ T_л$			
		Начальные		Конечные	
1–2		$p_1 > p_л$	$T_1 = T_л$	$p_2 \quad p_л$	$T_2 \quad T_л$
2–3		$p_2 \quad p_л$	$T_2 \quad T_л$	$p_3 \quad p_л$	$T_3 \quad T_л$
3–1		$p_3 \quad p_л$	$T_3 \quad T_л$	$p_1 \quad p_л$	$T_1 \quad T_л$

Задание 2. Определение отношения теплоемкостей

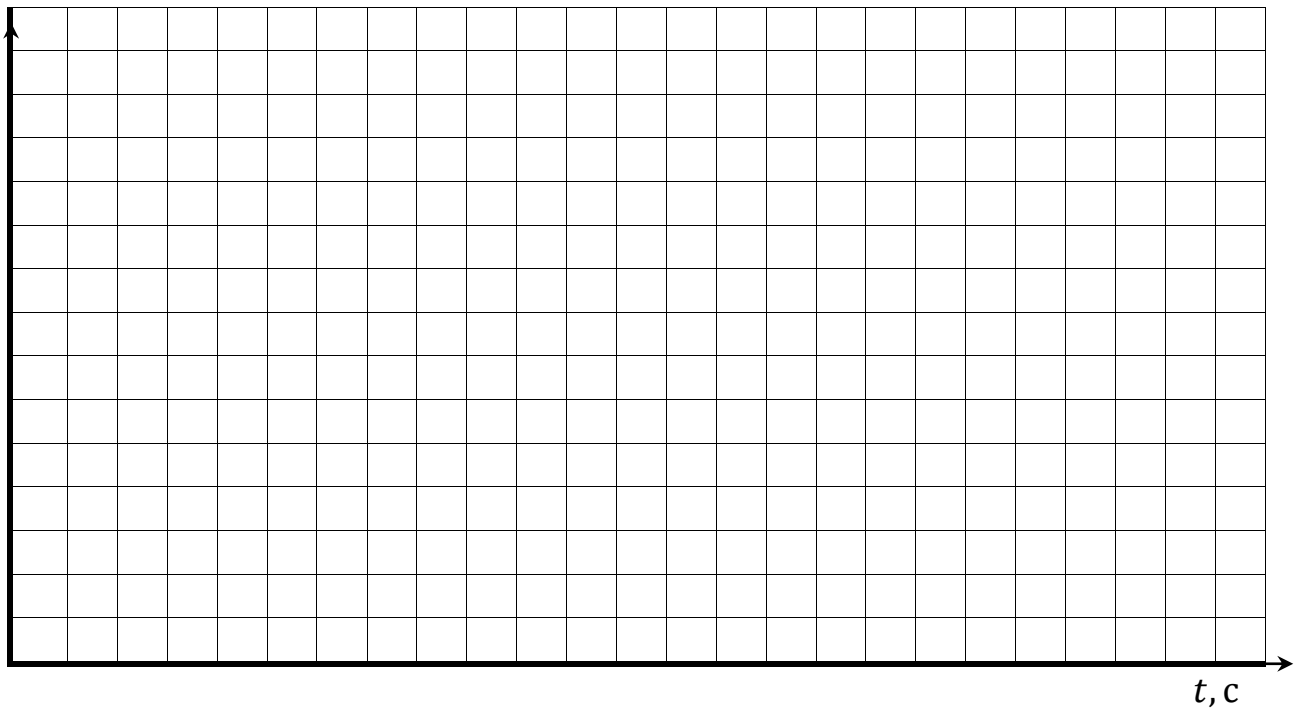
ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 2

$H =$ мм	t, с	5	10	15	20	25	Координаты средней точки $\bar{t} =$
	h', мм						
	$\ln h'$						$\overline{\ln h'} =$

Зависимость показания манометра h' от времени t протекания процесса1–2

$\ln h'$



ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Экстраполяция по графику:

при $t = 0$: $\ln h =$; $\rightarrow$ $h =$ мм.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$

а) по результатам опыта

$$\gamma_{\text{эксп}} = \frac{H}{H-h} = \text{———} =$$

б) теоретический расчет (по формуле МКТ)

$$\gamma_{\text{расч}} = \frac{i+2}{i} = \text{——} =$$

Здесь i – число степеней свободы молекул воздуха (O_2 и N_2) $i = 5$.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

(проводится сравнением с результатом теоретического расчета)

$$\Delta\gamma = \gamma_{\text{расч}} - \gamma_{\text{эксп}} =$$

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ:

$$\gamma = \gamma_{\text{эксп}} \pm \Delta\gamma; \quad \rightarrow \quad \gamma = \quad \pm$$

ВЫВОД

Часть II

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА. ФИЗИКА АТОМА И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Состав дисциплины: лекции 12 ч, практические занятия 6 ч, лабораторные занятия 10 ч, экзамен по курсу физики.

4.1. Программные (экзаменационные) вопросы

1. Магнитное поле. Векторы магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Закон Био – Савара – Лапласа.
2. Применение закона Био – Савара – Лапласа для расчета индукции магнитного поля прямого тока.
3. Применение закона Био – Савара – Лапласа для расчета индукции магнитного поля в центре и на оси кругового тока. Магнитный момент кругового тока.
4. Закон Ампера. Взаимодействие прямых длинных параллельных токов.
5. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока, его применение для расчета магнитного поля соленоида и тороида.
6. Магнитный поток. Теорема Гаусса для магнитного поля. Работа, совершаемая при перемещении проводника и рамки с током в магнитном поле.
7. Сила Лоренца, ее характеристика. Формула Лоренца. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном поле.
8. Эффект Холла, его объяснение.
9. Магнетики. Электронные микротоки в атоме. Прецессия электронов атома в магнитном поле. Магнитные свойства атомов и молекул.
10. Магнитное поле в веществе, намагничивание вещества. Вектор намагниченности. Магнитная восприимчивость и относительная магнитная проницаемость вещества.
11. Виды магнетиков: диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Зависимость их свойств от напряженности МП.
12. Ферромагнетики. Домены, явление гистерезиса, точка Кюри.
13. Явление электромагнитной индукции (ЭМИ). Закон Фарадея. Правило Ленца.
14. Явление электромагнитной индукции. Причины возникновения ЭДС индукции в неподвижном контуре, во вращающемся контуре, в движущемся проводнике.
15. Явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции. Индуктивность контура. Изменение тока в цепи при включении и выключении ЭДС.
16. Применение явлений ЭМИ. Токи Фуко. Скин-эффект. Явление взаимной индукции. Трансформаторы.

17. Энергия магнитного поля. Плотность энергии МП.

18. Колебательный контур без активного сопротивления. Свободные электрические колебания. Параметры колебаний.

19. Затухающие электрические колебания. Логарифмический декремент затухания колебаний.

20. Вынужденные электрические колебания. Переменный ток. Цепь, содержащая сопротивление R; цепь, содержащая индуктивность L; цепь, содержащая емкость C. Последовательное соединение элементов R, L, C.

21. Электромагнитное поле. Теория Максвелла. Понятие о токе смещения.

22. Интегральные уравнения Максвелла.

23. Электромагнитные волны (ЭМВ). Излучение ЭМВ. Свойства ЭМВ. Шкала ЭМВ.

24. Развитие представлений о природе света. Элементы геометрической оптики. Законы распространения, отражения и преломления света. Полное внутреннее отражение.

25. Тонкие линзы – правило построения изображений, увеличение линзы.

26. Волновая природа света. Суперпозиция и интерференция света. Понятие когерентных волн. Связь разности фаз и разности оптического хода лучей.

27. Интерференция. Условия максимумов и минимумов интерференции, выраженные через разность фаз и разность оптического хода.

28. Длина и время когерентности света. Пространственная и временная когерентность. Когерентность реальных источников света.

29. Способы получения когерентных источников света. Опыт Юнга, расчет интерференционной картины.

30. Изменение фазы волны при отражении света от диэлектриков. Интерференция света при отражении от тонких пленок. Просветление оптики.

31. Линии равной толщины, полосы равного наклона, кольца Ньютона. Практическое применение интерференции.

32. Волновая природа света в явлении дифракции света. Принцип Гюйгенса – Френеля. Зоны Френеля.

33. Дифракция сферической волны (дифракция Френеля) на круглом отверстии. Зонная пластина. Дифракция Френеля на круглом экране.

34. Дифракция плоской волны (дифракция Фраунгофера) на щели. Расчет дифракции на щели с помощью зон Френеля. Влияние ширины щели на дифракционную картину.

35. Дифракционная решетка. Условие главных максимумов. Спектр дифракционной решетки. Разрешающая способность решетки.

36. Дифракция рентгеновских лучей на кристалле. Уравнение Вульфа –Брэггов. Рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализ.

37. Фотография и голография. Недостатки фотографии, пути их устранения. Голография и когерентность волн.

38. Принципиальная схема получения голографической картины и восстановления изображения предмета. Применение голографии.

39. Естественный и поляризованный свет. Степень поляризации. Поляризация при пропускании света через вещество, опыт Малюса и его объяснение.

40. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков. Закон Брюстера.

41. Поляризация света при двойном лучепреломлении в кристаллах.

42. Вращение плоскости поляризации света оптически активными веществами (твердыми и жидкими) и в магнитном поле.

43. Дисперсия световых волн, опыт Ньютона. Нормальная и аномальная дисперсия света. Классическая электронная теория дисперсии.

44. Тепловое излучение. Основные понятия: поток излучения, энергетическая светимость, поглощательная способность, спектральная плотность энергетической светимости, ее зависимость от длины волны.

45. Тепловое равновесие. Понятие абсолютно черного тела (АЧТ). Закон Кирхгофа для теплового излучения.

46. Экспериментальные зависимости спектральной плотности энергетической светимости АЧТ от длины волны и температуры. Законы Вина. Закон Стефана – Больцмана. Ультрафиолетовая катастрофа.

47. Квантовая природа теплового излучения, формула Планка для спектральной плотности энергетической светимости АЧТ.

48. Применение законов теплового излучения для измерения температуры: оптическая пирометрия.

49. Явление внешнего фотоэффекта. Установка Столетова для исследования фотоэффекта. Вольтамперная характеристика фотоэлемента. Основные законы фотоэффекта (законы Столетова) и их рассмотрение в рамках классической физики.

50. Квантовая природа поглощения света. Объяснение Эйнштейном законов внешнего фотоэффекта, уравнение Эйнштейна.

51. Применение фотоэффекта: фотоэлементы, фотоэлектронные умножители, фотосопротивления и др.

52. Квантовый характер распространения света. Фотон, его масса и импульс.

53. Рассеяние рентгеновского излучения на элементарных частицах: эффект Комптона. Теоретический расчет комптоновской длины волны.

54. Давление света. Корпускулярно-волновая двойственность света.

55. Линейчатый спектр излучения атома водорода. Серии в спектре излучения. Формула Бальмера.

56. Модель Томсона строения атома. Опыт Резерфорда по рассеянию α-частиц. Планетарная модель атома. Постулаты Бора.

57. Расчет по теории Бора энергии электрона и радиуса электронных орбит для атомов водорода и водородоподобных ионов.

58. Энергетические уровни электрона в атоме водорода по теории Бора. Энергия ионизации. Объяснение спектров атома водорода по теории Бора.

59. Получение рентгеновских лучей, сплошной спектр тормозного излучения, его коротковолновая граница, определение постоянной Планка.

60. Линейчатые (характеристические) рентгеновские спектры. Закон Мозли. Объяснение линейчатых рентгеновских спектров.

61. Корпускулярно-волновой дуализм частиц материи. Гипотеза де Бройля. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля. Опыты Девиссона и Джермера.

62. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса, энергии и времени.

63. Волновая функция, ее статистический смысл. Общее уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.

64. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии частицы. Волновые функции.

65. Лазеры. Спонтанное и вынужденное излучение. Создание активной среды. Гелий-неоновый лазер. Свойства и применение лазерного излучения.

66. Атомное ядро: размер, состав и заряд ядра. Дефект массы. Энергия связи ядра.

67. Радиоактивное излучение и его виды. Естественная радиоактивность. Опыт Кюри. Свойства радиоактивного излучения.

68. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Активность радиоактивного вещества.

69. Законы сохранения заряда и массы при радиоактивном распаде. Правило смещения при радиоактивном распаде.

70. Особенности альфа-распада и бета-распада. Гамма-излучение и его свойства.

71. Цепная реакция деления ядра. Управляемые ядерные реакции деления – основа атомной энергетики.

72. Ядерные реакции синтеза. О возможности проведения управляемого термоядерного синтеза (УТЯС).

4.2. Типовые задачи (экзаменационные)

Электромагнетизм: расчет магнитной индукции $\vec{B}$

1. Бесконечно длинный проводник с током $I = 100$ А изогнут так, как показано на рис. 1. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке O. Радиус дуги $R = 10$ см.

2. Магнитный момент тонкого проводящего кольца $p_m = 5\ \text{А} \cdot \text{м}^2$. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке A, находящейся на оси кольца радиусом $R = 0{,}1$ м и удаленной от точек кольца на расстояние $r = 20$ см (рис. 2).

3. По двум скрещенным под прямым углом бесконечно длинным проводникам текут токи $I_1 = I$ и $I_2 = 2I$, где $I = 100$ А. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке A (рис. 3); расстояние $d = 10$ см.

4. По бесконечно длинному проводнику, изогнутому, как показано на рис. 4, течет ток $I = 200$ А. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке O. Радиус дуги $R = 10$ см.

5. По тонкому кольцу радиусом $R = 20$ см течет ток $I = 100$ А. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке A на оси кольца (рис. 5). Угол $\beta = \frac{\pi}{3}$.

6. По двум бесконечно длинным проводникам, скрещенным под прямым углом, текут токи $I_1 = I$ и $I_2 = 2I$, где $I = 100$ А. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке A, равноудаленной от проводов на расстояние $d = 10$ см (рис. 6).

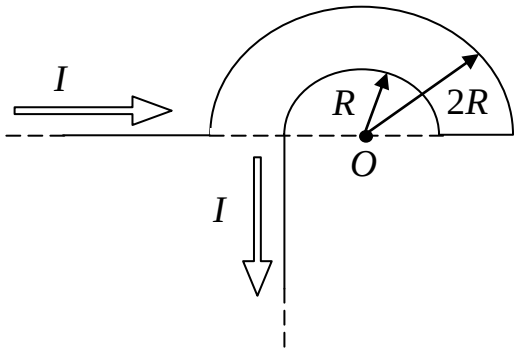


Рис. 1

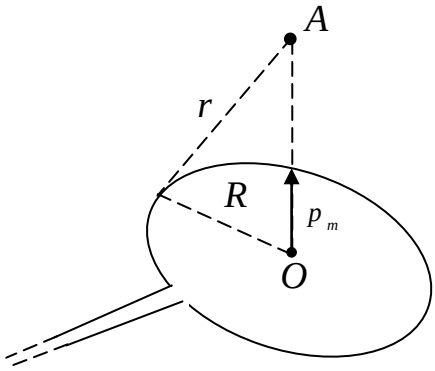


Рис. 2

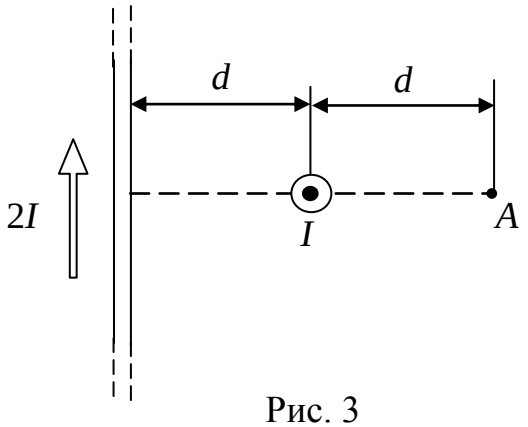


Рис. 3

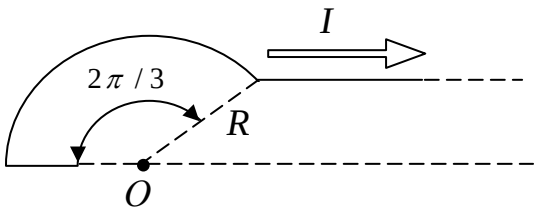


Рис. 4

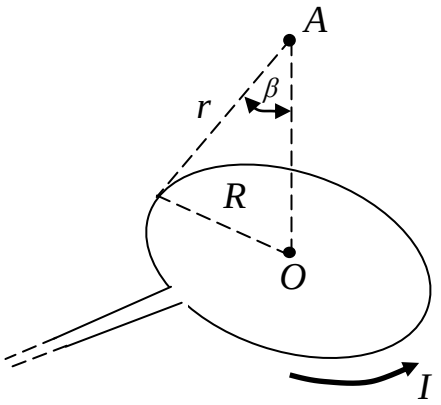


Рис. 5

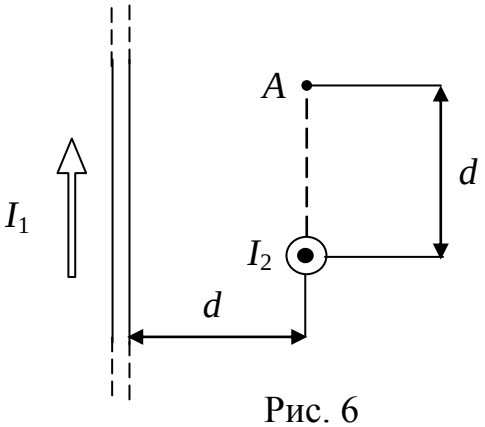


Рис. 6

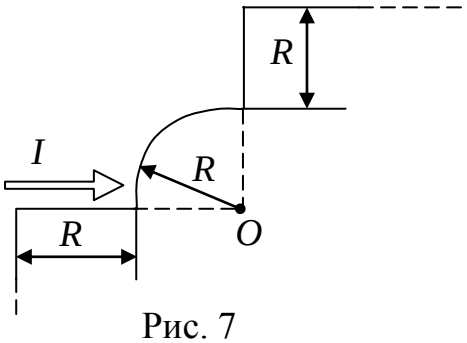


Рис. 7

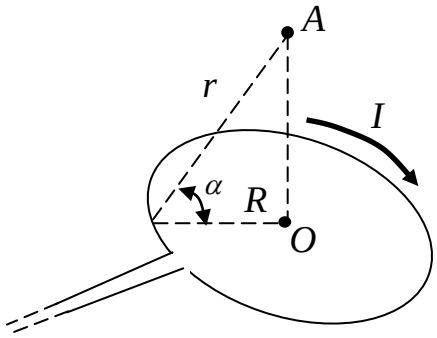


Рис. 8

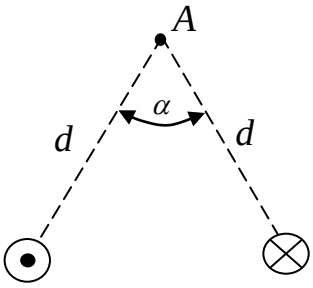


Рис. 9

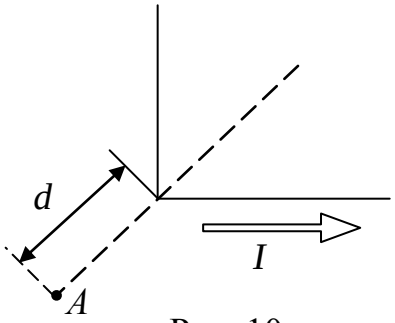


Рис. 10

7. Бесконечно длинный проводник с током $I = 200$ А изогнут так, как показано на рис. 7. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке O. Радиус дуги $R = 10$ см.

8. По тонкому кольцу течет ток $I = 80$ А. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке A, равноудаленной от точек кольца на расстояние $r = 10$ см. Угол $\alpha = 45^0$ (рис. 8).

9. По двум бесконечно длинным, прямым параллельным проводникам текут одинаковые токи $I = 60$ А. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке A (рис. 9), равноудаленной от проводников на расстояние $d = 10$ см. Угол $\alpha = \frac{\pi}{3}$.

10. Бесконечно длинный проводник с током $I = 50$ А изогнут, как показано на рис. 10. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля в точке A, лежащей на биссектрисе прямого угла на расстоянии $d = 10$ см от его вершины.

Сила Ампера. Работа силы Ампера

11. По двум параллельным проводникам длиной $l = 3{,}0$ м каждый текут одинаковые токи $I = 500$ А. Расстояние между проводами $d = 10$ см. Определите силу $\vec{F}$ взаимодействия проводов.

12. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $d = 10$ см друг от друга, текут равные токи $I = 200$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислите для каждого провода силу, действующую на единицу длины провода: $\frac{d\overrightarrow{F_i}}{dl_i}$.

13. Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 10$ см расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником так, что две ее стороны параллельны проводнику. Расстояние от провода до ближайшей стороны рамки $a = 10$ см. Ток в проводе $I_1 = 100$ А, в рамке $I_2 = 10$ А. Определите силы $\overrightarrow{F_i}$, действующие на каждую сторону рамки, и силу, действующую на всю рамку.

14. Виток диаметром $d = 10$ см может вращаться вокруг вертикальной оси, совпадающей с диаметром витка. Виток установили в плоскости магнитного меридиана и пропустили по нему ток $I = 40$ А. Какой вращающий момент $\vec{M}$ нужно приложить к витку, чтобы удержать его в начальном положении? Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B_г = 2 \cdot 10^{-4}$ Тл.

15. Прямой проводник длиной $l = 40$ см, по которому течет ток $I = 100$ А, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл. Какую работу A совершат силы, действующие на провод

со стороны поля, переместив его на расстояние $s = 40$ см, если направление перемещения перпендикулярно линиям магнитной индукции и проводнику?

16. Виток радиусом $R = 20$ см, с током $I = 50$ А, свободно установился в однородном магнитном поле с напряженностью $H = 10^3\ \frac{\text{А}}{\text{м}}$. Виток повернули относительно диаметра на угол $\varphi = 30^0$. Определите совершенную работу A.

17. На оси контура с током, магнитный момент которого $p_{m1} = 0{,}20\ \text{А} \cdot \text{м}^2$, находится другой такой же контур: $p_{m2} = p_{m1}$. Магнитный момент второго контура перпендикулярен оси первого контура. Расстояние межу контурами $r = 1$ м, а размеры контуров малы по сравнению с расстоянием r. Определите механический момент $\vec{M}$, действующий на второй контур.

18. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии $d_1 = 10$ см друг от друга. По проводникам в одном направлении текут токи $I_1 = 20$ А и $I_2 = 30$ А. Какую работу A_l (на единицу длины проводника) нужно совершить, чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния $d_2 = 20$ см?

19. Тонкий проводник в виде полукольца радиусом $R = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 50$ мТл. Вектор $\vec{B}$ лежит в плоскости полукольца и перпендикулярен его диаметру (рис. 11). По проводнику течет ток $I = 10$ А. Определите силу $\vec{F}$, действующую на полукольцо.

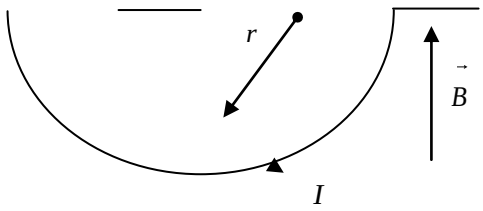


Рис 11

20. Тонкий проводник в виде полукольца радиусом $R = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл. Плоскость полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции, а подводящие провода расположены вдоль линий $\vec{B}$. По проводнику протекает ток $I = 50$ А. Определите силу $\vec{F}$, действующую на проводник.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном поле

21. Два иона разной массы, имеющие одинаковые заряды, влетели в однородное магнитное поле и стали двигаться по окружностям радиусами $R_1 = 3$ см и $R_2 = 1{,}73$ см. Определите отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов U .

22. Однозарядный ион натрия прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ кВ и влетел в однородное магнитное поле с индукцией

$B = 0{,}5$ Тл перпендикулярно линиям поля. Определите относительную атомную массу A иона, если он описал окружность радиусом $R = 4{,}37$ см.

23. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 800$ В и, влетев в однородное магнитное поле с индукцией $B = 47$ мТл, стал двигаться по винтовой линии с шагом $h = 1$ см. Определите радиус R винтовой линии.

24. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 100$ В и, влетев в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, стала двигаться по винтовой линии с шагом $h = 6{,}5$ см и радиусом $R = 1$ см. Определите удельный заряд частицы $\frac{Q}{m}$: отношение заряда частицы к ее массе.

25. Электрон влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 200$ мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите силу эквивалентного кругового тока $I_{\text{экв}}$, создаваемого движением электрона в магнитном поле.

26. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 1{,}0$ кВ и влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 20$ мТл под углом $\alpha = 30^0$ к линиям магнитной индукции. Определите шаг h и радиус R винтовой линии, по которой будет двигаться протон в магнитном поле.

27. Ион с кинетической энергией $W_{\text{К}} = 1$ кэВ влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 20$ мТл и стал двигаться по окружности. Определите магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

28. Ион движется по окружности в магнитном поле с индукцией $B = 0{,}01$ Тл. Определите кинетическую энергию $W_{\text{К}}$ иона (в электрон-вольтах), если магнитный момент эквивалентного кругового тока $p_m = 1{,}6 \cdot 10^{-14}$ А $\cdot$ м^2.

29. Ион, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 650$ В, влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное ($B = 1{,}5$ мТл) и электростатическое $\left(E = 200\ \frac{\text{В}}{\text{м}}\right)$ поля. Определите отношение заряда иона к его массе, если ион в этих полях движется прямолинейно.

30. В скрещенные под прямым углом однородные поля: магнитное $\left(H = 1\ \frac{\text{МА}}{\text{м}}\right)$ и электрическое $\left(E = 50\ \frac{\text{кВ}}{\text{м}}\right)$, – влетел ион. При какой скорости $\vec{v}$ иона (по модулю и направлению) он будет двигаться в этих полях равномерно и прямолинейно?

Магнитный поток. Работа в магнитном поле

31. Плоский контур площадью $S = 20$ см^2 находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}03$ Тл. Определите магнитный поток ф, пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол $\varphi = 60^0$ с направлением линий магнитной индукции.

32. Магнитный поток сквозь сечение соленоида ф $= 50$ мкВб. Длина соленоида $l = 50$ см. Определите магнитный момент p_m соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

33. В средней части соленоида, содержащего $n = 8\ \frac{\text{витков}}{\text{см}}$, помещен круговой виток диаметром $d = 4$ см. Плоскость витка расположена под углом $\varphi = 60^0$ к оси соленоида. Определите магнитный поток ф, пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток $I = 1$ А.

34. На длинный цилиндрический каркас радиусом $R = 2$ см уложена «виток к витку» однослойная обмотка из проволоки диаметром $d = 0{,}2$ мм. Определите магнитный поток ф, создаваемый таким соленоидом при силе тока $I = 0{,}5$ А.

35. Квадратный контур со стороной $a = 10$ см, в котором течет ток $I = 6$ А, находится в магнитном поле с индукцией $B = 0{,}8$ Тл; плоскость контура расположена под углом $\varphi = 30^0$ к линиям магнитной индукции. Какую работу A нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?

36. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока $I = 60$ А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл. Радиус витка $R = 5$ см. Какую работу A нужно совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с его диаметром, на угол $\varphi = 60^0$.

37. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S = 100$ см^2. Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50$ А, его переместили в область пространства, где поле отсутствует. Определите магнитную индукцию поля B, если при перемещении совершена работа $A = 0{,}4$ Дж.

Явление электромагнитной индукции

38. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл равномерно с частотой $n = 5$ с$^{-1}$ вращается проводящий стержень длиной $l = 50$ см так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям магнитной

индукции, а ось вращения проходит через конец стержня. Определите разность потенциалов U, индуцируемую на концах стержня.

39. В проволочное кольцо, присоединенное к интегратору тока, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд $Q = 50$ мкКл. Покажите на схеме цепи направление индукционного тока в кольце и определите изменение магнитного потока $\Delta\phi$ через плоскость кольца, если сопротивление цепи $R = 10$ Ом.

40. Замкнутый медный провод массой $m = 10$ г, имеющий форму квадрата, помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл так, что плоскость контура перпендикулярна линиям поля. Покажите на схеме направление индукционного тока в контуре и определите заряд Q, который потечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

41. Рамка из провода сопротивлением $R = 0{,}04$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}6$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 200$ см^2. Покажите направление индукционного тока в рамке и определите заряд Q, который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от 0 до 45°.

42. Проволочный виток диаметром $d = 5$ см и сопротивлением $R = 0{,}02$ Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}3$ Тл. Плоскость витка составляет угол $\varphi = 60^0$ с линиями индукции. Какой заряд Q протечет по витку при выключении магнитного поля? Покажите направление индукционного тока в витке.

43. Рамка, содержащая $N = 200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться вокруг оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки $S = 50$ см^2. Ось вращения рамки перпендикулярна линиям однородного магнитного поля с индукцией $B = 0{,}05$ Тл. Определите максимальную ЭДС $\mathcal{E}_{\max}$, которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой $n = 40$ с$^{-1}$.

44. Прямой проводящий стержень длиной $l = 40$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл. Концы стержня замкнуты проводом, находящимся вне поля. Сопротивление цепи $R = 0{,}5$ Ом. Какая мощность P требуется для равномерного движения стержня со скоростью $v = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, перпендикулярной линиям магнитной индукции?

45. Проволочный контур площадью $S = 500$ см^2 и сопротивлением $R = 0{,}1$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле

с индукцией $B = 0{,}5$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости контура и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определите максимальную мощность $P_{\max}$, необходимую для вращения контура с угловой скоростью $\omega = 50\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

ЭДС самоиндукции. Индуктивность цепи. Энергия магнитного поля

46. Соленоид сечением $S = 10$ см^2 содержит $N = 10^3$ витков. При силе тока $I = 5$ А магнитная индукция поля внутри соленоида $B = 0{,}05$ Тл. Определите индуктивность L соленоида и энергию его магнитного поля W.

47. Индуктивность соленоида с однослойной обмоткой $L = 0{,}5$ мГн. Длина соленоида $l = 0{,}6$ м, радиус $R = 1$ см. Определите отношение числа витков соленоида к его длине: $n = \frac{N}{l}$.

48. По катушке индуктивностью $L = 8$ мкГн течет ток $I = 5$ А. Определите среднее значение ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{\text{ср}}$, возникающей в контуре, при уменьшении силы тока практически до нуля за время $\Delta t = 0{,}5$ мс.

49. В электрической цепи, содержащей резистор сопротивлением $R = 20$ Ом и катушку индуктивностью $L = 0{,}06$ Гн, течет ток $I = 20$ А. Определите направление и величину индукционного тока I в цепи через время $t = 0{,}2$ мс после отключения источника тока без разрывания цепи.

50. Цепь состоит из катушки индуктивностью $L = 0{,}1$ Гн и источника тока. Источник отключили, не разрывая цепи. За время $t = 0{,}07$ с сила тока уменьшилась до $0{,}001I_0$, где I_0 – начальное значение. Определите активное сопротивление катушки R.

51. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R = 20$ Ом. За время $t = 0{,}1$ с, прошедшее от момента замыкания, сила тока в катушке достигла $0{,}95I_0$, где I_0 – установившееся значение. Покажите направление индукционного тока в катушке и определите индуктивность катушки L.

Электромагнитные колебания и волны

52. В идеальном колебательном контуре с емкостью $C = 20$ пФ и индуктивностью $L = 0{,}5$ мГн максимальный ток $I_{\text{m}} = 1{,}0$ мА. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0, период колебаний T и полную энергию колебаний.

53. В идеальном колебательном контуре (ИКК) заряд конденсатора изменяется по закону $Q(t) = 2\cos(2\pi \cdot 10^6 t)$, нКл. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0, амплитуду колебаний заряда Q_{m} и максимальный ток в контуре I_{m}.

54. Максимальный ток в идеальном колебательном контуре (ИКК) $I_{\text{m}} = 1$ мА, а максимальный заряд на обкладках конденсатора $Q_m =$

10^{-8} Кл. Определите собственную циклическую частоту ω_0 и период T колебаний в данном ИКК.

55. Идеальному колебательному контуру, состоящему из конденсатора емкостью $C = 2$ мкФ и катушки индуктивностью $L = 0{,}4$ Гн, передали энергию $W = 4$ Дж. Определите амплитудные значения заряда Q_{m}, напряжения U_{m} и тока I_{m} в контуре, а также действующие значения тока $I_{\text{д}}$ и напряжения $U_{\text{д}}$.

56. Ток в антенне радиопередатчика изменяется по закону $I = 0{,}5\ \sin(3 \cdot 10^8\ t)$, мА. Для излучающейся электромагнитной волны определите циклическую частоту ω и длину волны λ.

Оптика. Интерференция света

57. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны $R = 30$ см лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_5 = 1{,}1$ мм. Определите длину световой волны λ.

58. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 590$ нм. Определите толщину воздушного промежутка d_3 в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

59. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой с радиусом кривизны $R = 0{,}5$ м находится некоторая жидкость. При наблюдении в отраженном свете с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм измерен радиус третьего *<u>темного</u>* кольца Ньютона: $r_3 = 0{,}82$ мм. Определите показатель преломления n жидкости.

60. На тонкую пленку по нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Отраженный от пленки свет максимально усилен вследствие интерференции. Определите минимальную толщину пленки $d_{\min}$, если показатель преломления материала пленки $n = 1{,}4$.

61. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана $l = 1$ м; длина волны света $\lambda_0 = 0{,}6$ мкм. Определите расстояние d между щелями, если на участке экрана длиной $x_k = 1$ см укладывается $k = 10$ темных интерференционных полос.

62. На стеклянную линзу объектива с показателем преломления $n_{\text{л}} = 1{,}7$ нанесена тонкая прозрачная пленка вещества с показателем преломления $n_{\text{пл}} = 1{,}3$. Объектив освещен падающим на него нормально пучком света с длиной волны $\lambda_0 = 0{,}60$ мкм. Определите наименьшую толщину пленки $d_{\min}$, при которой отраженный свет будет иметь минимальную интенсивность.

63. На тонкий стеклянный клин с показателем преломления $n = 1{,}6$ падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 500$ нм.

Расстояние между соседними темными интерференционными полосами в отраженном свете $b = 0{,}5$ мм. Определите угол α между поверхностями клина.

Дифракция света и рентгеновских лучей

64. Какое наименьшее число щелей $N_{\min}$ должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть раздельно две желтые линии натрия с длинами волн $\lambda_1 = 589{,}0$ нм и $\lambda_2 = 589{,}6$ нм? Определите длину l такой решетки, если постоянная решетки $d = 5$ мкм?

65. На поверхность дифракционной решетки по нормали падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки d в $4,6$ раза больше, чем длина световой волны λ. Определите общее число N дифракционных максимумов, которые можно наблюдать в данном случае.

66. На дифракционную решетку по нормали к ней падает параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. Определите длину волны λ_4 спектральной линии в спектре четвертого порядка, на которую накладывается линия границы спектра третьего порядка: $\lambda_3 = 780$ нм?

67. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние между атомными плоскостями кристалла $d = 280$ пм. Дифракционный максимум первого порядка наблюдается под углом $\theta = 65^{\circ}$ к атомной плоскости. Определите длину волны рентгеновского излучения λ.

68. На диафрагму с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Угол дифракции лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\varphi = 30^{\circ}$. Определите ширину щели a.

69. Дифракционная решетка длиной $l = 2$ см позволяет разрешить в спектре первого порядка две спектральные линии калия: $\lambda_1 = 578$ нм и $\lambda_2 = 580$ нм. Определите общее число щелей N этой решетки и ее постоянную d.

70. На дифракционную решетку, постоянная которой $d = 4$ мкм, падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0{,}58$ мкм. Определите наибольший порядок максимума $k_{\max}$, который дает эта решетка, и угол дифракции φ для этого максимума ($k_{\max}$).

Поляризация света

71. Пластинку кварца толщиной $d = 2$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi = 53^{\circ}$. Какой

наименьшей толщины $d_{\min}$ следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно темным?

72. Кварцевую пластинку поместили между скрещенными николями. При какой наименьшей толщине кварцевой пластинки $d_{\min}$ поле зрения между николями будет максимально просветлено? Постоянная вращения кварца $\alpha = 27\ \frac{\text{град}}{\text{мм}}$.

73. При прохождении света в трубке длиной $l_1 = 20$ см, содержащей раствор сахара концентрацией $C_1 = 10$ %, плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 13{,}3^{\circ}$. В другом растворе сахара в трубке длиной $l_2 = 15$ см плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_2 = 5{,}2^{\circ}$. Определите концентрацию C_2 второго раствора.

74. Луч естественного света проходит последовательно через два поляроида, угол между плоскостями пропускания которых $\varphi = 30^{\circ}$. Принимая, что коэффициент поглощения света в каждом поляроиде $k = 0{,}15$, определите, во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из второго поляроида, по сравнению с интенсивностью луча, падающего на первый.

75. Угол падения луча на поверхность стекла $\alpha = 60^{\circ}$. При этом отраженный луч света максимально поляризован. Определите угол преломления луча β.

76. Луч света переходит из жидкости в стекло. Угол падения луча $\alpha = 60^{\circ}$, угол преломления $\beta = 50^{\circ}$. Определите угол падения светового луча $\alpha_{Б}$, при котором свет, отраженный от границы раздела этих сред, будет полностью поляризован.

Тепловое излучение

77. Вычислите истинную температуру T раскаленной вольфрамовой ленты, если радиационный пирометр показывает температуру $T_{\text{рад}} = 2{,}5$ кК. Считайте, что поглощательная способность вольфрама $a_T = 0{,}35$ и не зависит от длины волны излучения.

78. Температура абсолютно черного тела $T = 2$ кК. Определите длину волны λ_{m}, на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости $\left(r_{\lambda,T}\right)_{\max}$ для этой длины волны.

79. Определите температуру T и энергетическую светимость R_T абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_{\text{m}} = 600$ нм.

80. Из смотрового окна печи излучается поток энергии $\Phi = 4\ \frac{\text{кДж}}{\text{мин}}$. Определите температуру T печи, если площадь окна $S = 8\ \text{см}^2$.

81. Как и во сколько раз изменится поток излучения ф абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра: $\lambda_{m1} = 780$ нм, на фиолетовую границу – $\lambda_{m2} = 390$ нм?

82. Муфельная печь, потребляющая мощность $P = 1{,}2$ кВт, имеет отверстие площадью $S = 10$ см^2. Определите долю η мощности, которая рассеивается стенками печи, если температура ее внутренней поверхности $T = 2{,}0$ кК.

Фотоэлектрический эффект

83. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310$ нм. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов $(E_К)_{max}$ в джоулях и в электрон-вольтах, если на фотокатод падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм.

84. На поверхность калия падает свет с длиной волны $\lambda = 150$ нм. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов $(E_К)_{max}$.

85. Фотон с энергией $\varepsilon = 10$ эВ падает на серебряную пластинку и вызывает фотоэффект. Определите импульс $\vec{p}$, полученный пластинкой, принимая, что скорости движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластинки.

86. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм. Определите наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{min}, которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы фототок стал равен нулю.

87. Какова должна быть длина волны λ рентгеновского излучения, падающего на платиновую пластинку, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов $v_{max} = 3$ Мм/с?

88. На металлический фотокатод направлен пучок ультрафиолетового излучения с длиной волны $\lambda = 0{,}25$ мкм. Фототок прекращается, если приложить минимальную задерживающую разность потенциалов $U_{min} = 0{,}96$ В. Определите работу выхода A электронов из металла.

Фотон. Давление света

89. Для фотона рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ нм найдите энергию ε (в джоулях и электрон-вольтах), массу m и импульс p.

90. Определите энергетическую освещенность E_e зеркальной поверхности, если давление, оказываемое излучением, $p = 40$ мкПа. Излучение падает по нормали к поверхности.

91. Свет падает по нормали на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии $r = 10$ см от точечного изотропного излучателя. При какой мощности излучателя P давление света на поверхность $p = 10$ мкПа?

92. На черную поверхность площадью $S = 6$ см^2 падает по нормали поток излучения $\phi = 0{,}8$ Вт. Определите давление p и силу давления излучения F на эту поверхность.

93. Давление излучения с длиной волны $\lambda = 40$ нм, падающего нормально на черную поверхность, $p = 20$ нПа. Определите число фотонов N, падающих за время $t = 10$ с на площадь $S = 1$ мм^2 этой поверхности.

Эффект Комптона

94. Рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 1$ нм рассеивается на практически свободных электронах. Определите максимальную длину волны λ_{max} рентгеновского излучения в рассеянном пучке.

95. Фотон с длиной волны $\lambda = 15$ пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона $\lambda' = 16$ пм. Определите угол рассеяния θ.

96. В эффекте Комптона фотон с энергией $\varepsilon = 0{,}51$ МэВ рассеялся на свободном электроне на угол $\theta = \pi$. Определите кинетическую энергию $E_К$ электрона отдачи.

Атомная физика. Теория Бора

97. Для электрона, находящегося на второй орбите ($n = 2$) атома водорода, определите радиус орбиты r_2, момент импульса электрона L_2, а также направление и величину его скорости v_2.

98. Для электрона, находящегося на первой орбите ($n = 1$) атома водорода, определите радиус орбиты r_1, скорость электрона на этой орбите v_1 (направление и величину) и период обращения электрона T_1.

99. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 1$ и $n = 2$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона со второго энергетического уровня на первый – в серии Лаймана (ультрафиолетовой).

100. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 2$ и $n = 3$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с третьего энергетического уровня на второй – в серии Бальмера (видимой).

101. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 2$ и $n = 4$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с четвертого энергетического уровня на второй – в серии Бальмера (видимой).

102. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 3$ и $n = 5$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с пятого энергетического уровня на третий – в серии Пашена (в инфракрасной области).

Элементы квантовой механики

103. Электрон движется со скоростью $v = 2 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите длину волны де Бройля λ электрона, учитывая зависимость его массы от скорости.

104. Какую ускоряющую разность потенциалов U прошел электрон, если его длина волны де Бройля: а) $\lambda_1 = 0{,}1$ нм, б) $\lambda_2 = 1$ нм?

105. Параллельный пучок атомов водорода, падающий под углом скольжения $\theta = 30^{\circ}$ к поверхности монокристалла, дает дифракционный максимум 1-го порядка при отражении от плоскостей с межатомным расстоянием $d = 0{,}40$ нм. Определите длину волны де Бройля λ атомов водорода и их скорость v.

106. Определите длину волны де Бройля λ протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов: а) $U_1 = 1$ кВ, б) $U_2 = 1$ МВ.

107. Определите длину волны де Бройля λ атома гелия ($m = 4$ а. е. м.), имеющего скорость: а) $v_1 = 1 \cdot 10^3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, б) $v_2 = 1 \cdot 10^5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

108. Электрон, имеющий кинетическую энергию $E_{\text{К}} = 25$ эВ, находится в металлической пылинке диаметром $d = 0{,}5$ мкм. Оцените относительную точность $\frac{\Delta v}{v}$, с которой можно определить скорость электрона v.

109. Используя соотношение неопределенностей, оцените наименьшие погрешности Δv_x в определении скоростей электрона и протона, если координаты этих частиц установлены с неопределенностью $\Delta x = 0{,}01$ мм.

110. Используя соотношение неопределенностей $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$, оцените ширину энергетического уровня атома водорода, находящегося: 1) в основном состоянии – ΔE_1; 2) в возбужденном состоянии – ΔE_2, в котором время жизни атома $\Delta t = 3 \cdot 10^{-9}$ с.

111. Время жизни возбужденного атома $\tau \approx 1$ нс. С какой наименьшей погрешностью $\Delta\varepsilon$ может быть определена энергия фотона, излучаемого атомом.

112. Оцените неопределенность скорости Δv_x электрона в основном состоянии атома водорода, принимая, что неопределенность координаты электрона $\Delta x \approx 2r_1 = 1{,}06 \cdot 10^{-10}$ м.

Ядерная физика. Радиоактивность

113. Вычислите энергию связи $E_{\text{св}}$ ядра изотопа лития ${}^{7}_{3}\text{Li}$ и трития ${}^{3}_{1}\text{H}$ и их удельную энергию связи $E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$. Определите, какое ядро прочнее.

114. Определите энергию Q, которая выделяется при реакции

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + ^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{4}_{2}\mathrm{He}.$$

115. Определите энергию Q, которая поглощается при реакции

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{1}_{1}\mathrm{H} + ^{17}_{8}\mathrm{O}.$$

116. Для образца радиоактивного изотопа фосфора $^{32}_{15}\mathrm{P}$, начальная масса которого $m = 1$ мг, определите число ядер N, распадающихся в течение времени: 1) $t_1 = 1$ мин; 2) $t_2 = 5$ суток.

117. Определите, какая доля δ радиоактивного изотопа актиния $^{225}_{89}\mathrm{Ac}$ распадается в течение времени $t = 5$ суток.

118. Активность A образца некоторого изотопа за время $t = 10$ суток уменьшилась на 20%. Определите период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

119. Определите массу m образца радиоактивного изотопа йода $^{131}_{53}\mathrm{I}$, имеющего активность $A = 37$ ГБк.

120. Счетчик α-частиц, установленный вблизи образца радиоактивного изотопа, при первом измерении зарегистрировал $\left(\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}\right)_0 = 1400\ \frac{1}{\text{мин}}$ – частиц в минуту, а через время $t = 4$ ч – $\left(\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}\right)_1 = 400\ \frac{1}{\text{мин}}$. Определите период полураспада изотопа $T_{1/2}$.

4.3. Установочные лекции

Таблица 6

Номер лекции	Тема и содержание лекции	Программные вопросы
1	Магнитное поле. Закон Био – Савара – Лапласа. Закон Ампера. Закон полного тока. Магнитный поток. Работа в магнитном поле. Сила Лоренца. Магнетики	1–12
2	Явление электромагнитной индукции. Самоиндукция. Энергия магнитного поля. Свободные электрические колебания	13–18
3	Интерференция, дифракция и поляризация света	26-42
4	Тепловое излучение. Фотоэффект, эффект Комптона. Давление света	44–54
5	Строение атома. Оптические спектры. Постулаты Бора. Рентгеновские спектры. Закон Мозли	55–60
6	Элементы квантовой механики и атомной физики	61–70

4.4. Самостоятельная работа студентов

В самостоятельную работу студентов (СРС) включается следующее:
1) выполнение двух контрольных работ;
2) подготовка к выполнению лабораторных работ (см. раздел 7);
3) подготовка к экзамену (по программным вопросам);
4) изучение по рекомендуемой литературе тем, представленных в табл. 7.

Таблица 7

Номер темы	Тема работы	Програм-мные вопросы
1	Затухающие и вынужденные электрические колебания	19-20
2	Электромагнитное поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны. Свойства и шкала ЭМВ	21-23
3	Голография	37–38
4	Лазеры	65
5	Атомная энергетика: ядерные реакции деления и синтеза	71–72

4.5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимова, Т.И. Курс физики: учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов / Т.И. Трофимова. – М.: Академия, 2010. – 557 с.

2. Писарев, Н.М. Физика: Курс лекций для студентов инженерных специальностей вузов / Н.М. Писарев; под ред. Г.П. Вяткина. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. – Ч.2. – 299 с.

3. Детлаф, А.А. Курс физики: учебное пособие для втузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Академия, 2008. – 719 с.

4. Савельев, И.В. Курс физики Т.2: Электричество и магнетизм: учебное пособие для втузов: в 5 т. / И.В. Савельев. – СПб. и др.: Лань, 2011. – 342 с.

5. Савельев, И.В. Курс физики Т.4: Волны. Оптика: учебное пособие для втузов: в 5 т. / И.В. Савельев. – СПб. и др.: Лань, 2011. – 251 с.

6. Савельев, И.В. Курс физики Т.5: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц:

учебное пособие для втузов: в 5 т. / И.В. Савельев. – СПб. и др.: Лань, 2011. – 384 с.

7. Чертов, А.Г. Задачник по физике: учебное пособие для втузов / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Издательство Физматлит, 2008. – 640 с.

8. Фирганг, Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики: учебное пособие для втузов по техническим направлениям и специальностям / Е.В. Фирганг. – СПб. и др.: Лань, 2009. – 347 с.

9. Герасимов, В.К. Электричество и магнетизм. Руководство к решению задач: учебное пособие для студентов вузов / В.К. Герасимов, Т.О. Миронова, Ю.Б. Пейсахов, Т.П. Привалова.– Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 140 с.

10. Герасимов, В.К. Физика. Руководство по изучению курса физики: учебное пособие для студентов вузов заочной формы обучения / В.К. Герасимов, Т.О. Миронова, Ю.Б. Пейсахов, Т.П. Привалова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 146 с.

11. Электричество и магнетизм: учебное пособие к выполнению лабораторных работ по курсу физики / Л.Ф. Гладкова, А.Е. Гришкевич, С.И. Морозов и др.; под ред. А.Е. Гришкевича. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 110 с.

5. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Студент решает 6 задач своего варианта, номер которого совпадает с последней цифрой шифра. Номера задач каждого варианта представлены в табл. 9.

5.1. Таблица вариантов контрольной работы № 2

Таблица 9

Вариант	Номера задач					
0	210	220	230	240	250	260
1	201	211	221	231	241	251
2	202	212	222	232	242	252
3	203	213	223	233	243	253
4	204	214	224	234	244	254
5	205	215	225	235	245	255
6	206	216	226	236	246	256
7	207	217	227	237	247	257
8	208	218	228	238	248	258
9	209	219	229	239	249	259

5.2. Рекомендации к решению задач по разделу «Электромагнетизм»

1. Внимательно прочитайте условие задачи. Выясните, какое явление рассматривается в задаче, и изучите сведения о нем и о физических величинах, его описывающих, по учебному пособию.

2. При определении магнитных сил, магнитного потока и других величин обратите внимание на то, какое магнитное поле рассматривается в задаче – однородное или неоднородное. В первом случае используйте более простые формулы для однородного МП.

3. При решении задачи определяйте направления искомых векторов $\mathrm{d}\vec{B}$, $\vec{B}$, $\mathrm{d}\overrightarrow{F_A}$, $\overrightarrow{F_A}$, $\overrightarrow{F_Л}$ и др. Для этого используйте а) определительные формулы, в правой части которых записано векторное произведение векторов или б) правило буравчика и правило левой руки.

4. В том случае, если магнитное поле создается в ферромагнетике, для которого магнитная проницаемость $\mu \gg 1$ (в отличие от картонного или воздушного сердечника, имеющего $\mu \approx 1$), необходимо определять величину μ по формуле, связывающей напряженность H и магнитную индукцию B:

$$B = \mu_0 \mu H; \quad \rightarrow \quad \mu = \frac{B}{\mu_0 H}.$$

При этом следует учесть, что величина магнитной индукции зависит от напряженности МП: $B = f(H)$, – и соответственно $\mu = f(H)$. Поэтому сначала вычисляют напряженность магнитного поля H, которая зависит только от тока в контуре и формы и размеров контура (катушки). Затем *по экспериментальному графику кривой намагничивания* $B = f(H)$ для заданного материала сердечника (используя справочные данные) по рассчитанной величине H определяют индукцию магнитного поля B. По найденным значениям B и H вычисляют магнитную проницаемость сердечника по записанной выше формуле.

5.3. ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 2

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле

201. По двум параллельным проводникам длиной $l = 3{,}0$ м каждый текут одинаковые токи $I = 500$ А. Расстояние между проводами $d = 10$ см. Определите силу $\vec{F}$ взаимодействия проводов.

202. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $d = 10$ см друг от друга, текут равные токи $I = 200$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислите для каждого провода силу, действующую на единицу длины провода: $\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{F_i}}{\mathrm{d}l_i}$.

203. Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 10$ см расположена в одной плоскости с длинным прямым проводником так, что две ее стороны параллельны проводнику. Расстояние от провода

до ближайшей стороны рамки $a = 10$ см. Ток в проводе $I_1 = 100$ А, в рамке $I_2 = 10$ А. Определите силы $\overrightarrow{F_i}$, действующие на каждую сторону рамки, и силу, действующую на всю рамку.

204. Виток диаметром $d = 10$ см может вращаться вокруг вертикальной оси, совпадающей с диаметром витка. Виток установили в плоскости магнитного меридиана и пропустили по нему ток $I = 40$ А. Какой вращающий момент $\vec{M}$ нужно приложить к витку, чтобы удержать его в начальном положении? Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли $B_г = 2 \cdot 10^{-4}$ Тл.

205. Прямой проводник длиной $l = 40$ см, по которому течет ток $I = 100$ А, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл. Какую работу A совершат силы, действующие на провод со стороны поля, переместив его на расстояние $s = 40$ см, если направление перемещения перпендикулярно линиям магнитной индукции и проводнику?

206. Виток радиусом $R = 20$ см, с током $I = 50$ А, свободно установился в однородном магнитном поле с напряженностью $H = 10^3\ \frac{А}{м}$. Виток повернули относительно диаметра на угол $\varphi = 30^0$. Определите совершенную работу A.

207. На оси контура с током, магнитный момент которого $p_{m1} = 0{,}20\ А \cdot м^2$, находится другой такой же контур: $p_{m2} = p_{m1}$. Магнитный момент второго контура перпендикулярен оси первого контура. Расстояние межу контурами $r = 1$ м, а размеры контуров малы по сравнению с расстоянием r. Определите механический момент $\vec{M}$, действующий на второй контур.

208. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии $d_1 = 10$ см друг от друга. По проводникам в одном направлении текут токи $I_1 = 20$ А и $I_2 = 30$ А. Какую работу A_l (на единицу длины проводника) нужно совершить, чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния $d_2 = 20$ см?

209. Тонкий проводник в виде полукольца радиусом $R = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 50$ мТл. Вектор $\vec{B}$ лежит в плоскости полукольца и перпендикулярен его диаметру (рис. 11). По проводнику течет ток $I = 10$ А. Определите силу $\vec{F}$, действующую на полукольцо.

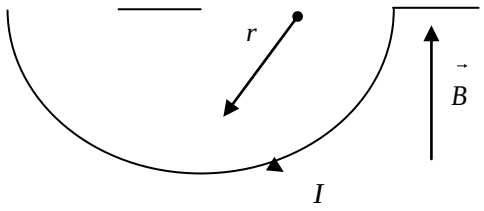


Рис 11

210. Тонкий проводник в виде полукольца радиусом $R = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл. Плоскость полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции, а подводящие провода расположены вдоль линий $\vec{B}$. По проводнику протекает ток $I = 50$ А. Определите силу $\vec{F}$, действующую на проводник.

Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях

211. Два иона разной массы, имеющие одинаковые заряды, влетели в однородное магнитное поле и стали двигаться по окружностям радиусами $R_1 = 3$ см и $R_2 = 1{,}73$ см. Определите отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов U .

212. Однозарядный ион натрия прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ кВ и влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл перпендикулярно линиям поля. Определите относительную атомную массу A иона, если он описал окружность радиусом $R = 4{,}37$ см.

213. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 800$ В и, влетев в однородное магнитное поле с индукцией $B = 47$ мТл, стал двигаться по винтовой линии с шагом $h = 1$ см. Определите радиус R винтовой линии.

214. Альфа-частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 300$ В и, попав в однородное магнитное поле, стала двигаться по винтовой линии радиусом $R = 1{,}0$ см и шагом $h = 4$ см. Определите магнитную индукцию поля B.

215. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 100$ В и, влетев в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, стала двигаться по винтовой линии с шагом $h = 6{,}5$ см и радиусом $R = 1$ см. Определите удельный заряд частицы $\frac{Q}{m}$: отношение заряда частицы к ее массе.

216. Электрон влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 200$ мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите силу эквивалентного кругового тока $I_{\text{экв}}$, создаваемого движением электрона в магнитном поле.

217. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 1{,}0$ кВ и влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 20$ мТл под углом $\alpha = 30^0$ к линиям магнитной индукции. Определите шаг h и радиус R винтовой линии, по которой будет двигаться протон в магнитном поле.

218. Альфа-частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов U, стала двигаться в однородном магнитном поле с индукцией $B = 50$ мТл

по винтовой линии с шагом $h = 5$ см и радиусом $R = 1{,}0$ см. Определите ускоряющую разность потенциалов U, которую прошла альфа-частица.

219. Ион с кинетической энергией $W_К = 1$ кэВ влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 20$ мТл и стал двигаться по окружности. Определите магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

220. Ион движется по окружности в магнитном поле с индукцией $B = 0{,}01$ Тл. Определите кинетическую энергию $W_К$ иона (в электрон-вольтах), если магнитный момент эквивалентного кругового тока $p_m = 1{,}6 \cdot 10^{-14}$ А $\cdot$ м^2.

Магнитный поток. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле

221. Плоский контур площадью $S = 20$ см^2 находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}03$ Тл. Определите магнитный поток ф, пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол $\varphi = 60^0$ с направлением линий магнитной индукции.

222. Магнитный поток сквозь сечение соленоида ф $= 50$ мкВб. Длина соленоида $l = 50$ см. Определите магнитный момент p_m соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

223. В средней части соленоида, содержащего $n = 8\ \frac{\text{витков}}{\text{см}}$, помещен круговой виток диаметром $d = 4$ см. Плоскость витка расположена под углом $\varphi = 60^0$ к оси соленоида. Определите магнитный поток ф, пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток $I = 1$ А.

224. На длинный цилиндрический каркас радиусом $R = 2$ см уложена «виток к витку» однослойная обмотка из проволоки диаметром $d = 0{,}2$ мм. Определите магнитный поток ф, создаваемый таким соленоидом при силе тока $I = 0{,}5$ А.

225. Плоский контур с током $I = 5$ А свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}4$ Тл. Площадь контура $S = 200$ см^2. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\varphi = 45^0$. Определите совершенную при этом работу A.

226. Квадратный контур со стороной $a = 10$ см, в котором течет ток $I = 6$ А, находится в магнитном поле с индукцией $B = 0{,}8$ Тл; плоскость контура расположена под углом $\varphi = 30^0$ к линиям магнитной индукции. Какую работу A нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?

227. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока $I = 60$ А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20$ мТл. Радиус витка $R = 5$ см. Какую работу A нужно совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с его диаметром, на угол $\varphi = 60^0$.

228. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S = 100$ см^2. Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50$ А, его переместили в область пространства, где поле отсутствует. Определите магнитную индукцию поля B, если при перемещении контура была совершена работа $A = 0{,}4$ Дж.

229. Плоский круговой контур радиусом $R = 10$ см с током $I = 1$ А расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}6$ Тл так, что нормаль к контуру перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определите работу A, совершаемую силами поля при медленном повороте контура вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\varphi = 30^{\circ}$.

230. Определите магнитный поток ф, пронизывающий соленоид, если его длина $l = 30$ см и магнитный момент $p_m = 0{,}4$ А $\cdot$ м^2.

Явление электромагнитной индукции. Индуктивность цепи. Энергия магнитного поля

231. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл равномерно с частотой $n = 5$ с$^{-1}$ вращается проводящий стержень длиной $l = 50$ см так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям магнитной индукции, а ось вращения проходит через конец стержня. Определите разность потенциалов U, индуцируемую на концах стержня.

232. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл вращается с частотой $n = 10$ с$^{-1}$ проводящий стержень длиной $l = 20$ см. Плоскость его вращения перпендикулярна линиям магнитной индукции, а ось вращения проходит через конец стержня. Определите разность потенциалов U, индуцируемую на концах стержня.

233. В проволочное кольцо, присоединенное к интегратору тока, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд $Q = 50$ мкКл. Покажите на схеме цепи направление индукционного тока в кольце и определите изменение магнитного потока $\Delta\phi$ через плоскость кольца, если сопротивление цепи $R = 10$ Ом.

234. Замкнутый медный провод массой $m = 10$ г, имеющий форму квадрата, помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл

так, что плоскость контура перпендикулярна линиям поля. Покажите на схеме направление индукционного тока в контуре и определите заряд Q, который потечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

235. Рамка из провода сопротивлением $R = 0{,}04$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}6$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 200$ см^2. Покажите направление индукционного тока в рамке и определите заряд Q, который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от 0 до 45°.

236. Проволочный виток диаметром $d = 5$ см и сопротивлением $R = 0{,}02$ Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}3$ Тл. Плоскость витка составляет угол $\varphi = 60^0$ с линиями индукции. Какой заряд Q протечет по витку при выключении магнитного поля? Покажите направление индукционного тока в витке.

237. Рамка, содержащая $N = 200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться вокруг оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки $S = 50$ см^2. Ось вращения рамки перпендикулярна линиям однородного магнитного поля с индукцией $B = 0{,}05$ Тл. Определите максимальную ЭДС $\mathcal{E}_{\max}$, которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой $n = 40$ с$^{-1}$.

238. Прямой проводящий стержень длиной $l = 40$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл. Концы стержня замкнуты проводом, находящимся вне поля. Сопротивление цепи $R = 0{,}5$ Ом. Какая мощность P требуется для равномерного движения стержня со скоростью $v = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, перпендикулярной линиям магнитной индукции?

239. Проволочный контур площадью $S = 500$ см^2 и сопротивлением $R = 0{,}1$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости контура и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определите максимальную мощность $P_{\max}$, необходимую для вращения контура с угловой скоростью $\omega = 50\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

240. Кольцо из медного провода массой $m = 10$ г помещено в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл; плоскость кольца составляет угол $\varphi = 60^0$ с линиями магнитной индукции. Покажите направление индукционного тока и определите заряд Q, который пройдет по кольцу, если снять магнитное поле.

241. Соленоид сечением $S = 10$ см^2 содержит $N = 10^3$ витков. При силе тока $I = 5$ А магнитная индукция поля внутри соленоида $B = 0{,}05$ Тл. Определите индуктивность L соленоида и энергию его магнитного поля W.

242. На картонный каркас радиусом $R = 2$ см и длиной $l = 0{,}8$ м намотан в один слой провод диаметром $d = 0{,}25$ мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. Вычислите индуктивность L полученного соленоида.

243. Катушка, намотанная на цилиндрический каркас, имеет $N_1 = 250$ витков и индуктивность $L_1 = 36$ мГн. Чтобы увеличить индуктивность катушки до $L_2 = 100$ мГн, обмотку катушки заменили обмоткой из более тонкого провода с таким расчетом, чтобы длина катушки l осталась прежней. Какое число витков N_2 оказалось в катушке после перемотки?

244. Индуктивность соленоида с однослойной обмоткой $L = 0{,}5$ мГн. Длина соленоида $l = 0{,}6$ м, радиус $R = 1$ см. Определите отношение числа витков соленоида к его длине: $n = \frac{N}{l}$.

245. Обмотка соленоида содержит $N = 800$ витков. Сердечник из немагнитного материала имеет сечение $S = 10$ см^2. По обмотке течет ток, создающий поле с магнитной индукцией $B = 8$ мТл. Определите среднее значение ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{\text{ср}}$, которая появится на зажимах соленоида, если сила тока уменьшится практически до нуля за время $\Delta t = 0{,}8$ мс.

246. По катушке индуктивностью $L = 8$ мкГн течет ток $I = 5$ А. Определите среднее значение ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{\text{ср}}$, возникающей в контуре, при уменьшении силы тока практически до нуля за время $\Delta t = 0{,}5$ мс.

247. В электрической цепи, содержащей резистор сопротивлением $R = 20$ Ом и катушку индуктивностью $L = 0{,}06$ Гн, течет ток $I = 20$ А. Определите направление и величину индукционного тока I в цепи через время $t = 0{,}2$ мс после отключения источника тока без разрывания цепи.

248. Цепь состоит из катушки индуктивностью $L = 0{,}1$ Гн и источника тока. Источник отключили, не разрывая цепи. За время $t = 0{,}07$ с сила тока уменьшилась до $0{,}001I_0$, где I_0 – начальное значение. Определите активное сопротивление катушки R.

249. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R = 10$ Ом и индуктивностью $L = 0{,}2$ Гн. За какое время t ток в цепи достигнет величины, равной $0{,}5I_0$, где I_0 – установившееся значение? Покажите направление индукционного тока в катушке.

250. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R = 20$ Ом. За время $t = 0{,}1$ с, прошедшее от момента замыкания, сила тока в катушке достигла $0{,}95I_0$, где I_0 – установившееся значение. Покажите направление индукционного тока в катушке и определите индуктивность катушки L.

Электромагнитные колебания и волны

251. В идеальном колебательном контуре с емкостью $C = 20$ пФ и индуктивностью $L = 0{,}5$ мГн максимальный ток $I_\text{m} = 1{,}0$ мА. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0, период колебаний T и полную энергию колебаний.

252. В идеальном колебательном контуре (ИКК) заряд конденсатора изменяется по закону $Q(t) = 2\cos(2\pi \cdot 10^6 t)$, нКл. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0, амплитуду колебаний заряда Q_m и максимальный ток в контуре I_m.

253. Максимальный ток в идеальном колебательном контуре (ИКК) $I_\text{m} = 1$ мА, а максимальный заряд на обкладках конденсатора $Q_m = 10^{-8}$ Кл. Определите собственную циклическую частоту ω_0 и период T колебаний в данном ИКК.

254. Идеальному колебательному контуру, состоящему из конденсатора емкостью $C = 2$ мкФ и катушки индуктивностью $L = 0{,}4$ Гн, передали энергию $W = 4$ Дж. Определите амплитудные значения заряда Q_m, напряжения U_m и тока I_m в контуре, а также действующие значения тока $I_\text{д}$ и напряжения $U_\text{д}$.

255. Ток в антенне радиопередатчика изменяется по закону $I = 0{,}5\ \sin(3 \cdot 10^8\ t)$, мА. Для излучающейся электромагнитной волны определите циклическую частоту ω и длину волны λ.

256. В идеальном колебательном контуре с емкостью $C = 2$ мкФ и индуктивностью $L = 5$ мГн амплитуда колебаний заряда конденсатора $Q_\text{m} = 1{,}0$ мкКл. Определите собственную циклическую частоту ω_0, период колебаний T и полную энергию колебаний.

257. В идеальном колебательном контуре (ИКК) заряд конденсатора изменяется по закону $Q(t) = 5\cos(2\pi \cdot 10^6 t)$, мкКл. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0, амплитуду колебаний заряда Q_m и максимальный ток в контуре I_m.

258. Максимальный заряд на обкладках конденсатора в идеальном колебательном контуре (ИКК) $Q_\text{m} = 1{,}0$ нКл, а амплитуда колебаний тока $I_\text{m} = 5$ мА. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0 и период T колебаний в данном ИКК.

159. Идеальному колебательному контуру, состоящему из конденсатора емкостью $C = 2$ пФ и катушки индуктивностью $L = 1{,}0$ мкГн, сообщили энергию $W = 2$ мкДж. Определите амплитудные

значения заряда Q_{m}, напряжения U_{m} и тока I_{m} в контуре, а также действующие значения тока $I_{\text{д}}$ и напряжения $U_{\text{д}}$.

260. В излучающей радиоантенне ток изменяется по закону $I = 2\ \sin(2\pi \cdot 10^7\ t)$, мА. Определите циклическую частоту ω и длину волны λ излучающейся электромагнитной волны.

6. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Студент решает 6 задач своего варианта, номер которого совпадает с последней цифрой шифра. Номера задач каждого варианта представлены в табл. 10.

6.1. Таблица вариантов контрольной работы № 3

Таблица 10

Вариант	Номера задач					
0	310	320	330	340	350	360
1	301	311	321	331	341	351
2	302	312	322	332	342	352
3	303	313	323	333	343	353
4	304	314	324	334	344	354
5	305	315	325	335	345	355
6	306	316	326	336	346	356
7	307	317	327	337	347	357
8	308	318	328	338	348	358
9	309	319	329	339	349	359

6.2. Рекомендации к решению задач по разделу «Оптика»

1. Текст задачи следует внимательно прочитать, чтобы выяснить, какое физическое явление рассматривается в задаче. Полезно изобразить схематический чертеж или рисунок.

2. Ознакомьтесь с основными формулами для данного явления. Выясните, можно ли применить *законы сохранения* (*ЗСИ, ЗСЗ, ЗСЭ*) – для этого проверьте, выполняются ли в задаче условия применения закона. Выпишите законы и формулы, пригодные для решения данной задачи.

3. Запишите краткое условие задачи, выбирая для обозначения данных и искомых величин символы, которые будут использованы в формулах.

4. Задачу следует решать, как правило, в общем виде, чтобы получить расчетную формулу определяемой величины, содержащую символы заданных величин и физических постоянных.

5. Вычисление определяемой величины начинайте с подстановки в расчетную формулу значений величин. При этом следует помнить, что большинство физических величин имеют свои единицы измерения. Полезно записывать их при подстановке в формулу, чтобы убедиться, что все величины взяты в единицах СИ. Только при вычислении отношений,

например, $\frac{m_2}{m_1}$, $\frac{E_2}{E_1}$ и т. п. можно подставлять значения величин в любых, но одинаковых единицах, т. е. не обязательно в СИ. Если определяемых величин несколько, то вывод расчетной формулы для следующей величины начинайте, *закончив вычисление* предыдущей.

6. Полезно выполнять проверку расчетной формулы на совпадение единиц измерения левой и правой части равенства. Несовпадение единиц указывает на ошибку в расчетной формуле.

7. Вычисление и запись результата делайте с точностью до двух или трех (не более) значащих цифр. Незначащие нули записывайте в виде сомножителя $10^{\pm n}$. При этом, если показатель степени n соответствует приставке, используйте её: например, $W = 5{,}3 \cdot 10^{-5}$ Дж $= 53 \cdot 10^{-6}$ Дж $=$ 53 мкДж; $\lambda = 5{,}5 \cdot 10^{-7}$ м $= 0{,}55 \cdot 10^{-6}$ м $= 0{,}55$ мкм $= 550$ нм. Помните, что точность результата вычислений не может быть выше, чем точность исходных данных. Рекомендации по выполнению расчетов при решении задач подробно изложены в п. 1.6 (см. с. 12-15).

8. Оцените разумность полученного значения искомой величины одним из следующих путей: а) по физическому смыслу; б) сравнением с табличным значением или, по порядку величины, с числами, приведенными в рекомендациях к решению задач по данной теме.

6.3. Рекомендации к решению задач по разделу «Атомная и ядерная физика»

1. В стационарных состояниях атома параметры электрона: радиус круговой орбиты, скорость электрона и его момент импульса, период обращения, энергия электрона, – имеют дискретные значения, которые определяются главным квантовым числом n (номер орбиты). Эта зависимость отражается индексом величин: r_n, v_n, L_n, T_n, E_n.

2. По мере увеличения номера орбиты n ее радиус увеличивается ($r_n = n^2 r_1$), а скорость электрона уменьшается $\left(v_n = \frac{v_1}{n}\right)$; в результате период обращения растет ($T_n = n^3 T_1$), возрастает момент импульса электрона ($L_n = n\hbar$) и увеличивается его энергия $E_n = -\frac{13{,}6\ \text{эВ}}{n^2}$.

3. Порядок величин параметров электрона в атоме водорода можно оценить по указанным зависимостям и значениям величин для основного состояния ($n = 1$). В этом состоянии радиус орбиты $r_1 = 0{,}53 \cdot 10^{-10}$ м, скорость электрона $v_1 = 2{,}2 \cdot 10^6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, период обращения $T_1 = 1{,}5 \cdot 10^{-16}$ с, момент импульса $L_1 = 1{,}05 \cdot 10^{-34}\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}}$, и полная энергия электрона $E_1 = -13{,}6$ эВ.

4. Рекомендации по выполнению расчетов при решении задач подробно изложены в п. 1.7 (см. стр. 28-30).

6.4. ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3

Интерференция света

301. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой с радиусом кривизны $R = 0{,}5$ м находится некоторая жидкость. При наблюдении в отраженном свете с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм измерен радиус третьего *темного* кольца Ньютона: $r_3 = 0{,}82$ мм. Определите показатель преломления n жидкости.

302. На тонкую пленку по нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Отраженный от пленки свет максимально усилен вследствие интерференции. Определите минимальную толщину пленки $d_{\min}$, если показатель преломления материала пленки $n = 1{,}4$.

303. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана $l = 1$ м; длина волны света $\lambda_0 = 0{,}6$ мкм. Определите расстояние d между щелями, если на участке экрана длиной $x_k = 1$ см укладывается $k = 10$ темных интерференционных полос.

304. На стеклянную пластинку положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза. Сверху линза освещена монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Определите радиус линзы R, если радиус четвертого темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_4 = 2{,}0$ мм.

305. На тонкую глицериновую пленку с показателем преломления $n = 1{,}47$ и толщиной $d = 1{,}5$ мкм падает белый свет по нормали к поверхности пленки. Определите длины волн λ_0 лучей видимого участка спектра ($0{,}4 \le \lambda_0 \le 0{,}75$ мкм), которые в отраженном свете будут ослаблены в результате интерференции.

306. На стеклянную линзу объектива с показателем преломления $n_л = 1{,}7$ нанесена тонкая прозрачная пленка вещества с показателем преломления $n_{пл} = 1{,}3$. Объектив освещен падающим на него нормально пучком света с длиной волны $\lambda_0 = 0{,}60$ мкм. Определите наименьшую толщину пленки $d_{\min}$, при которой отраженный свет будет иметь минимальную интенсивность.

307. На тонкий стеклянный клин с показателем преломления $n = 1{,}6$ падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Расстояние между соседними темными интерференционными полосами в отраженном свете $b = 0{,}5$ мм. Определите угол α между поверхностями клина.

308. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны $R = 30$ см лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_5 = 1{,}1$ мм. Определите длину световой волны λ.

309. Между двумя плоскопараллельными пластинками на расстоянии $l = 10$ см от линии их соприкосновения находится проволока диаметром $d = 10$ мкм. Пластинки, образующие воздушный клин, освещаются нормально падающим монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0{,}60$ мкм. Определите ширину b интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном свете.

310. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 590$ нм. Определите толщину воздушного промежутка d_3 в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

Дифракция света

311. Какое наименьшее число щелей $N_{\min}$ должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть раздельно две желтые линии натрия с длинами волн $\lambda_1 = 589{,}0$ нм и $\lambda_2 = 589{,}6$ нм? Определите длину l такой решетки, если постоянная решетки $d = 5$ мкм?

312. На поверхность дифракционной решетки по нормали падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки d в $4,6$ раза больше, чем длина световой волны λ. Определите общее число N дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

313. На дифракционную решетку по нормали к ней падает параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. Определите длину волны λ_4 спектральной линии в спектре четвертого порядка, на которую накладывается линия границы спектра третьего порядка: $\lambda_3 = 780$ нм?

314. На дифракционную решетку, содержащую $n = 600$ штрихов на одном миллиметре длины, падает нормально белый свет. Линзой, помещенной вблизи решетки, дифракционный спектр проецируется на экран. Определите длину l спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 1{,}2$ м. Длины волн границ видимого спектра: $\lambda_{\text{кр}} = 780$ нм, $\lambda_{\text{фиол}} = 400$ нм.

315. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние между атомными плоскостями кристалла $d = 280$ пм. Дифракционный максимум первого порядка наблюдается под углом $\theta = 65^{\circ}$ к атомной плоскости. Определите длину волны рентгеновского излучения λ.

316. На диафрагму с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Угол дифракции лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\varphi = 30^{\circ}$. Определите ширину щели a.

317. На дифракционную решетку, содержащую $n = 100$ штрихов на одном миллиметре длины, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка: $k = 2$. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка ($k = -2$), ее нужно повернуть на угол $\Delta\varphi = 12^{\circ}$. Определите длину волны λ света, падающего на решетку.

318. Дифракционная решетка длиной $l = 2$ см позволяет разрешить в спектре первого порядка две спектральные линии калия: $\lambda_1 = 578$ нм и $\lambda_2 = 580$ нм. Определите общее число щелей N этой решетки и ее постоянную d.

319. Постоянная дифракционной решетки d в 4 раза больше, чем длина световой волны монохроматического света λ, падающего нормально на ее поверхность. Определите угол α между первыми симметричными дифракционными максимумами.

320. На дифракционную решетку, постоянная которой $d = 4$ мкм, падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0{,}58$ мкм. Определите наибольший порядок максимума $k_{\max}$, который дает эта решетка, и угол дифракции φ для этого максимума ($k_{\max}$).

Тепловое излучение

321. Вычислите истинную температуру T раскаленной вольфрамовой ленты, если радиационный пирометр показывает температуру $T_{\text{рад}} = 2{,}5$ кК. Считайте, что поглощательная способность вольфрама $a_T = 0{,}35$ и не зависит от длины волны излучения.

322. Температура абсолютно черного тела $T_1 = 500$ К. Какова будет температура тела T_2, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

323. Температура абсолютно черного тела $T = 2$ кК. Определите длину волны λ_{m}, на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости $\left(r_{\lambda,T}\right)_{\max}$ для этой длины волны.

324. Определите температуру T и энергетическую светимость R_T абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_{\text{m}} = 600$ нм.

325. Из смотрового окна печи излучается поток энергии $\phi = 4\ \frac{\text{кДж}}{\text{мин}}$. Определите температуру T печи, если площадь окна $S = 8$ см^2.

326. Поток излучения абсолютно черного тела $\phi = 10$ кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_{\text{m}} = 0{,}8$ мкм. Определите площадь S излучающей поверхности.

327. Как и во сколько раз изменится поток излучения ϕ абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной

границы видимого спектра: $\lambda_{m1} = 780$ нм, на фиолетовую границу – $\lambda_{m2} = 390$ нм?

328. Длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения абсолютно черного тела $\lambda_m = 0{,}6$ мкм. Определите температуру тела T.

329. Муфельная печь, потребляющая мощность $P = 1{,}2$ кВт, имеет отверстие площадью $S = 10$ см^2. Определите долю η мощности, которая рассеивается стенками печи, если температура ее внутренней поверхности $T = 2{,}0$ кК.

330. Средняя энергетическая светимость поверхности Земли $R_T = 0{,}54\ \frac{\text{Дж}}{\text{мин·см}^2}$. Определите температуру T поверхности Земли, принимая, что она излучает как серое тело, имеющее поглощательную способность $a_T = 0{,}25$?

Фотоэффект

331. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310$ нм. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов $(E_К)_{max}$ в джоулях и в электрон-вольтах, если на фотокатод падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм.

332. На поверхность калия падает свет с длиной волны $\lambda = 150$ нм. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов $(E_К)_{max}$.

333. Фотон с энергией $\varepsilon = 10$ эВ падает на серебряную пластинку и вызывает фотоэффект. Определите импульс $\vec{p}$, полученный пластинкой, принимая, что скорости движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластинки.

334. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм. Определите наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{min}, которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы фототок стал равен нулю.

335. Какова должна быть длина волны λ рентгеновского излучения, падающего на платиновую пластинку, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов $v_{max} = 3$ Мм/с?

336. На металлический фотокатод направлен пучок ультрафиолетового излучения с длиной волны $\lambda = 0{,}25$ мкм. Фототок прекращается, если приложить минимальную задерживающую разность потенциалов $U_{min} = 0{,}96$ В. Определите работу выхода A электронов из металла.

337. Излучение с длиной волны $\lambda = 0{,}2$ мкм падает на поверхность металла. Красная граница фотоэффекта для него $\lambda_0 = 0{,}3$ мкм. Определите долю энергии фотона, которая расходуется на сообщение электрону кинетической энергии $(E_К)_{max}$.

338. На металлический катод падает рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 1$ нм. Пренебрегая работой выхода, определите максимальную скорость фотоэлектронов $v_{\max}$.

339. На металлическую пластинку направлен пучок света с частотой $\nu = 7{,}3 \cdot 10^{14}$ Гц. Красная граница фотоэффекта для данного металла $\lambda_0 = 560$ нм. Определите максимальную скорость фотоэлектронов $v_{\max}$.

340. На цинковую пластинку направлен монохроматический пучок света. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов $U = 1{,}5$ В. Определите длину волны λ света, падающего на пластинку.

Теория атома водорода по Бору

341. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 1$ и $n = 2$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона со второго энергетического уровня на первый – в серии Лаймана (ультрафиолетовой).

342. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 1$ и $n = 3$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с третьего энергетического уровня на первый – в серии Лаймана (ультрафиолетовой).

343. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 1$ и $n = 4$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с четвертого энергетического уровня на первый – в серии Лаймана (ультрафиолетовой).

344. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 1$ и $n = 5$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с пятого энергетического уровня на первый – в серии Лаймана (ультрафиолетовой).

345. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 2$ и $n = 3$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с третьего энергетического уровня на второй – в серии Бальмера (видимой).

346. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 2$ и $n = 4$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с четвертого энергетического уровня на второй – в серии Бальмера (видимой).

347. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 2$ и $n = 5$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с пятого энергетического уровня на второй – в серии Бальмера (видимой).

348. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 3$ и $n = 4$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с четвертого

энергетического уровня на третий – в серии Пашена (в инфракрасной области).

349. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 3$ и $n = 5$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с пятого энергетического уровня на третий – в серии Пашена (в инфракрасной области).

350. Для атома водорода определите 1) полную энергию электрона E_n на орбитах с главным квантовым числом $n = 3$ и $n = 6$ и 2) длину волны λ фотона, излучаемого при переходе электрона с шестого энергетического уровня на третий – в серии Пашена (в инфракрасной области).

Элементы квантовой механики

351. Электрон движется со скоростью $v = 2 \cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите длину волны де Бройля λ электрона, учитывая зависимость его массы от скорости.

352. Какую ускоряющую разность потенциалов U прошел электрон, если его длина волны де Бройля: а) $\lambda_1 = 0{,}1$ нм, б) $\lambda_2 = 1$ нм?

353. Параллельный пучок атомов водорода, падающий под углом скольжения $\theta = 30^{\circ}$ к поверхности монокристалла, дает дифракционный максимум 1-го порядка при отражении от плоскостей с межатомным расстоянием $d = 0{,}40$ нм. Определите длину волны де Бройля λ атомов водорода и их скорость v.

354. Определите длину волны де Бройля λ электрона, имеющего кинетическую энергию: а) $E_{\text{К}1} = 1$ кэВ, б) $E_{\text{К}2} = 10$ кэВ.

355. Определите длину волны де Бройля λ протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов: а) $U_1 = 1$ кВ, б) $U_2 = 1$ МВ.

356. На грань монокристалла под углом $\theta = 60^{\circ}$ к его поверхности падает параллельный пучок электронов, движущихся с одинаковой скоростью v. Определите длину волны де Бройля λ и скорость электронов v, если они испытывают дифракционное отражение первого порядка от атомных плоскостей кристалла с расстоянием между ними $d = 0{,}3$ нм.

357. Определите длину волны де Бройля λ электрона, движущегося по круговой орбите в основном состоянии атома водорода: $n = 1$.

358. Определите длину волны де Бройля λ α-частицы ($m = 4$ а. е. м.), прошедшей ускоряющую разность потенциалов: а) $U_1 = 10$ кВ, б) $U_2 = 1$ МВ.

359. Определите длину волны де Бройля λ атома гелия ($m = 4$ а. е. м.), имеющего скорость: а) $v_1 = 1 \cdot 10^3\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, б) $v_2 = 1 \cdot 10^5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

360. Параллельный пучок электронов, движущихся с одинаковой скоростью v, падает нормально на диафрагму со щелью шириной $a = 1$ мкм. Проходя через щель, электроны рассеиваются и образуют

дифракционную картину на экране; первые минимумы наблюдаются под углом дифракции $\varphi = 30^{o}$. Определите длину волны де Бройля λ электронов и их скорость v.

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ

7.1. Темы лабораторных работ

Названия лабораторных работ, выполняемых студентами ЗИЭФ, приведены в табл. 11.

Таблица 11

Название работы	Номер работы в учебном пособии
Исследование электростатического поля методом моделирования	1
Определение удельного заряда электрона методом магнетрона	6
Изучение зависимости магнитной проницаемости ферромагнетика от напряженности магнитного поля	9

7.2. Подготовка к выполнению лабораторных работ

Методические указания к выполнению лабораторных работ: описание метода измерений, лабораторного стенда и схемы электрической цепи, порядок выполнения ЛР и обработки результатов измерений, – содержатся в следующем учебном пособии:

Электричество и магнетизм: учебное пособие к выполнению лабораторных работ по курсу физики / Л.Ф. Гладкова, А.Е. Гришкевич, С.И. Морозов и др.; под ред. А.Е. Гришкевича. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 110 с.

Данное учебное пособие можно найти по следующему электронному адресу: ***http://physics.susu.ac.ru/data/electr.pdf.***

При подготовке к лабораторной работе настоятельно рекомендуем заполнить некоторые разделы бланка отчета по каждой ЛР (до таблиц опытных данных): *цель работы, описание установки и метода измерений (включая название величин, входящих в расчетные формулы)*. Это позволит Вам получить представление о лабораторной работе и, благодаря этому, избежать ненужных ошибок при проведении эксперимента в физической лаборатории.

Перед выполнением лабораторных работ необходимо изучить раздел 3.1 «Введение в лабораторный практикум по физике» (с. 37-46) – п. п. 3.1.1. Проведение лабораторного эксперимента; 3.1.2. Графическое представление и обработка результатов измерений; 3.3.1. Рекомендации

к выполнению лабораторных работ и 3.3.2. Рекомендации к оформлению отчета по лабораторной работе.

7.3. Бланки отчетов по лабораторным работам

Эти ***бланки отчетов необходимо иметь*** при выполнении лабораторных работ **в лаборатории ЭЛЕКТРИЧЕСТВА** – в ауд. $\mathbf{345}^{Э}$, ГУК, *во время летней экзаменационной сессии*, по расписанию занятий группы.

Бланки отчетов ***можно распечатать с данного сайта***, начиная со следующей страницы.

Южно-Уральский государственный университет
Кафедра общей и теоретической физики

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Выполнил _____

группа _____

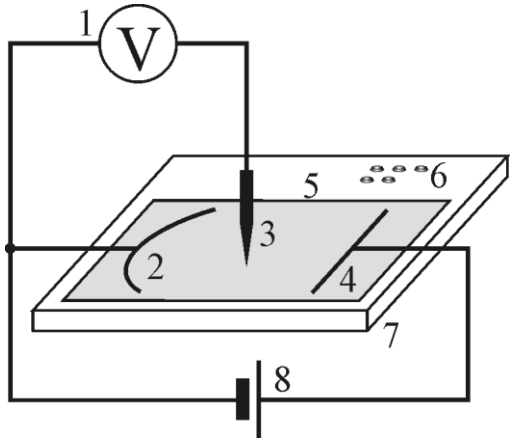
“____”_____20___г.

Проверил _____

“____”_____20___г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА И ОБОРУДОВАНИЕ



1 –

2 –

3 –

4 –

5 –

6 –

7 –

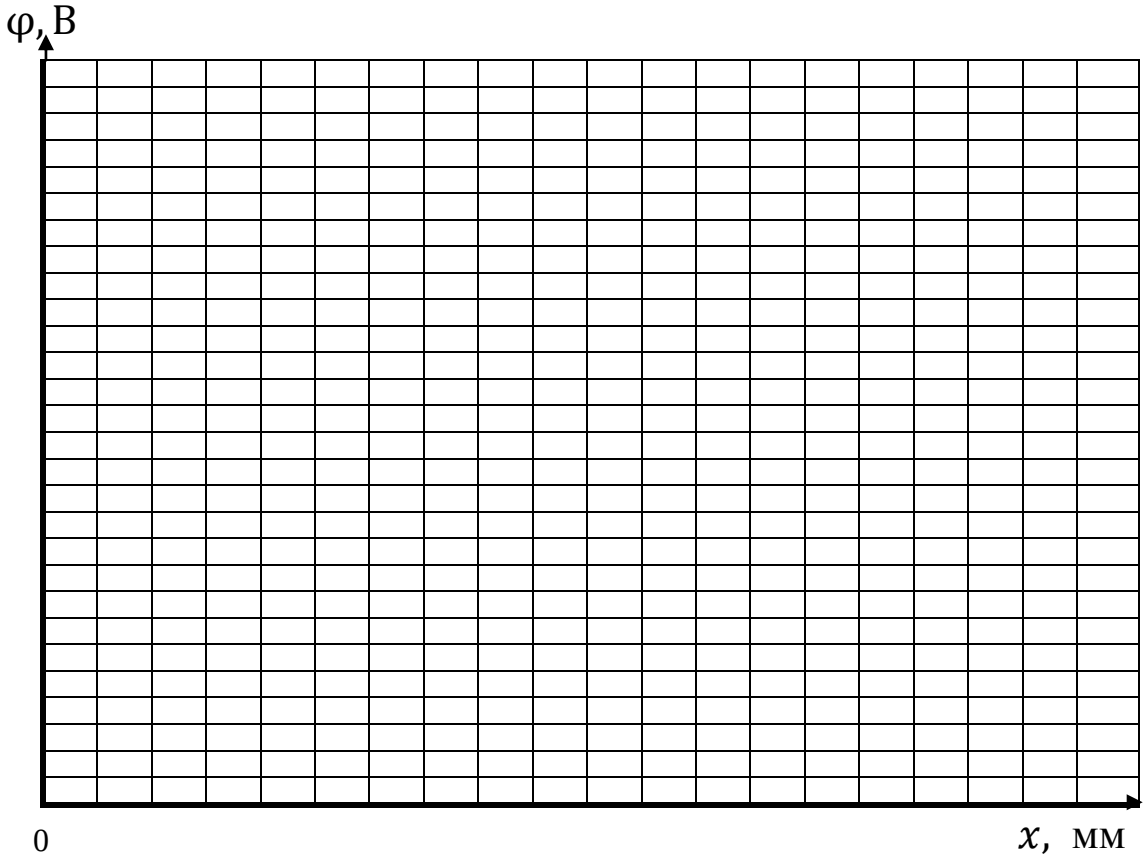
8 –

Эквипотенциальная поверхность содержит точки с равным потенциалом. Силовая линия – линия, по касательной к которой направлен вектор напряженности $\vec{E}$ в каждой точке электростатического поля (ЭСП). Силовые линии проводят перпендикулярно эквипотенциальным поверхностям.

$$\vec{E} = -\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}n}\vec{n}; \qquad \rightarrow \qquad E \approx \frac{\Delta\varphi}{\Delta n},$$

где $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к эквипотенциальной поверхности.

Изменение потенциала φ ЭСП с расстоянием x между электродами



РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА

$$E = \left|\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}n}\right| \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta n} = \frac{\qquad}{\qquad} = \qquad \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

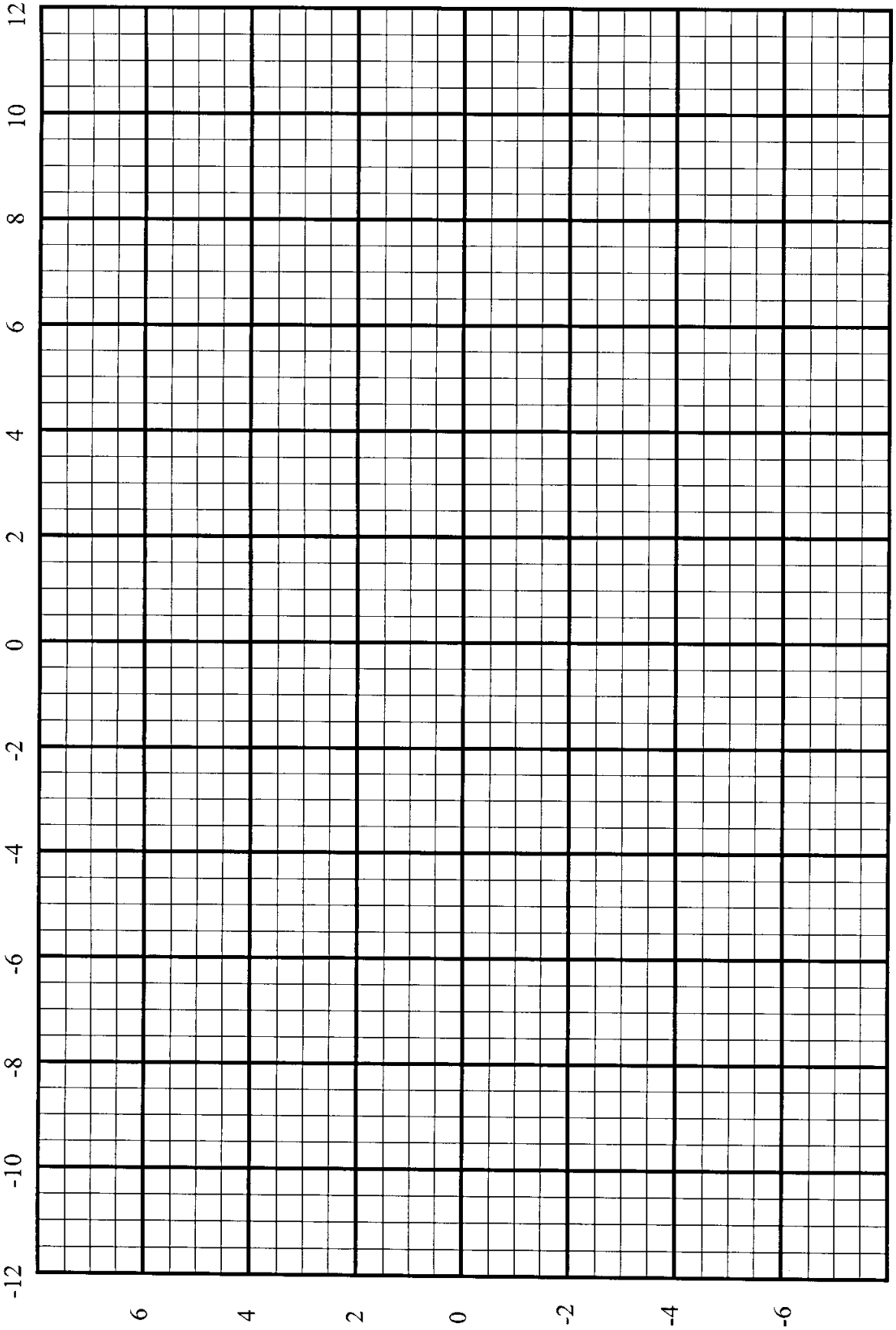
Здесь φ_1 и φ_2 –

Δn –

Точки в электростатическом поле	A	B	C
Напряженность ЭСП E, $\frac{\text{В}}{\text{м}}$			

ВЫВОД

Картина силовых линий и эквипотенциальных поверхностей исследуемого электростатического поля



Южно-Уральский государственный университет
Кафедра общей и теоретической физики

Лабораторная работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА

Выполнил_____

группа _____

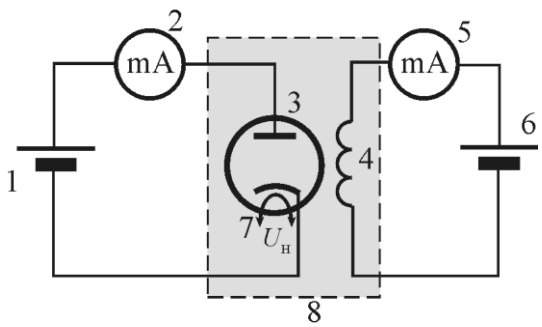
“___”_____20___г.

Проверил _____

“___”_____20__г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА И ОБОРУДОВАНИЕ



1 –

2 –

3 –

4 –

5 –

6 –

7 –

8 –

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

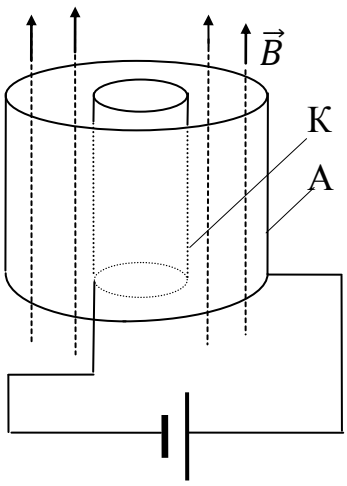


Рис. 1

МАГНЕТРОН – двухэлектродная лампа, помещенная в магнитное поле. Траектория движения электронов в лампе (и анодный ток) зависит от индукции магнитного поля.

$\vec{B}$ –

К –

А –

$$B_{\text{кр}} = \frac{2}{r}\sqrt{\frac{2U}{\frac{e}{m}}},$$

где U –

r –

$\frac{e}{m}$ –

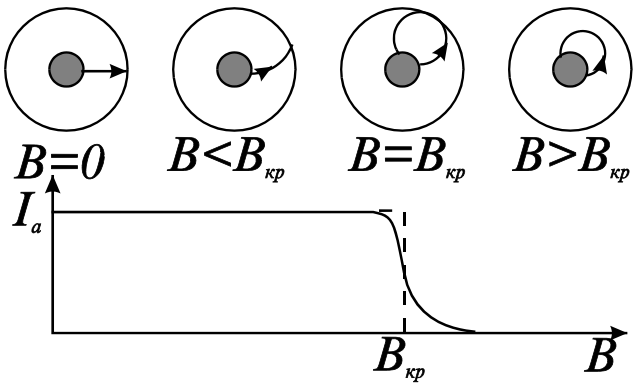


Рис. 2

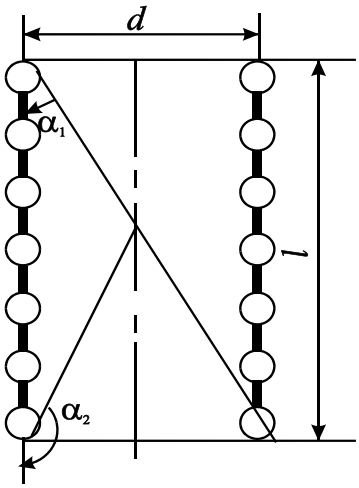


Рис. 3

Критическое значение индукции магнитного поля соленоида

$$B_{\text{кр}} = \frac{\mu_0 I_{\text{кр}} N}{\sqrt{l^2+d^2}},$$

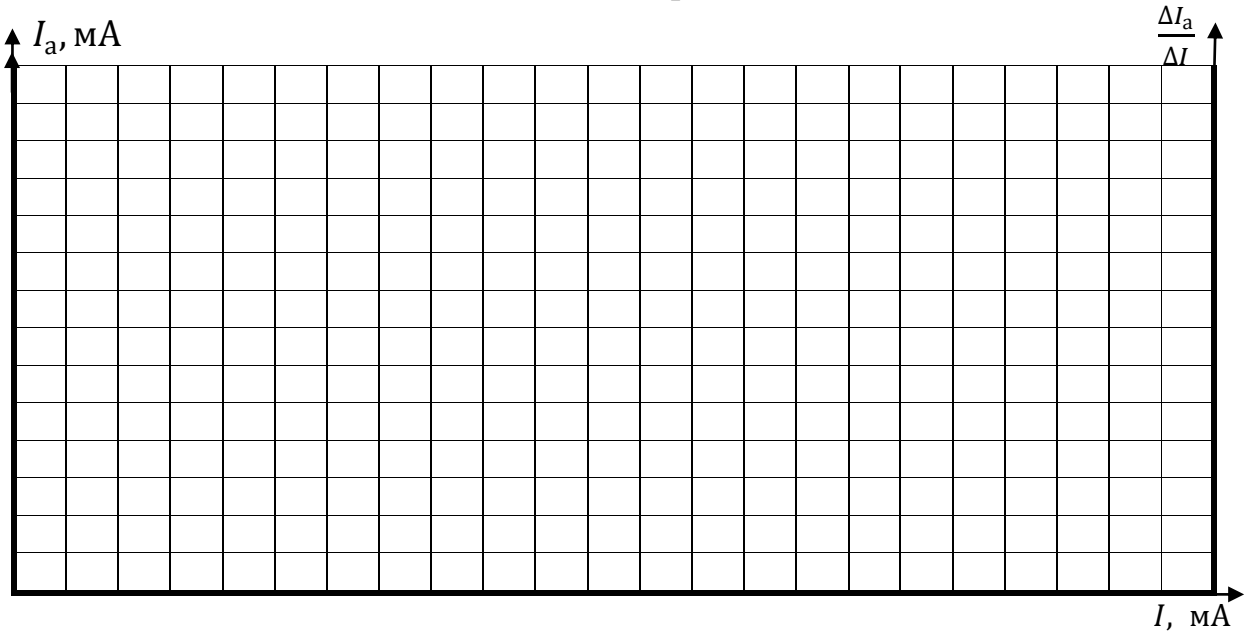
где $I_{\text{кр}}$ –

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнитная постоянная.

ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

ПАРАМЕТРЫ МАГНЕТРОНА	ТОК СОЛЕНОИДА I, мА	АНОДНЫЙ ТОК $I_а$, мА	ΔI, мА	$\Delta I_а$, мА	$\frac{\Delta I_а \cdot 10^3}{\Delta I}$, условных ед.
$r =$ 3 мм; $l =$ 36 мм; $d =$ 37 мм; $N = 2800$; $U =$ 15 В.	90				
	95				
	100				
	105				
	110				
	115				
	120				
	125				
	130				
	135				
	140				
	145				
	150				
	155				
	160				
	165				

Зависимость анодного тока магнетрона $I_а$ от тока I в соленоиде



По графику определяем значение критического тока $I_{кр} =$ мА.

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

$$\left(\frac{e}{m}\right)_{эксп} = \frac{8U(l^2+d^2)}{\left(\mu_0 r N I_{кр}\right)^2} = \frac{8\cdot 15В\cdot(36^2+37^2)10^{-6}\ м^2}{\left(4\cdot 3{,}14\cdot 10^{-7}\ \frac{Гн}{м}\cdot 3\cdot 10^{-3}\ м\cdot 2800\cdot \quad \cdot 10^{-3}\ А\right)^2} = \quad \frac{Кл}{кг}.$$

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Сравниваем $\left(\frac{e}{m}\right)_{эксп}$ с табличным значением $\left(\frac{e}{m}\right)_{табл} = 1{,}76\cdot 10^{11}\ \frac{Кл}{кг}$:

а) относительная погрешность измерения (показывает точность полученного результата):

$$\delta_{\left(\frac{e}{m}\right)} = \frac{\left(\frac{e}{m}\right)_{табл} - \left(\frac{e}{m}\right)_{эксп}}{\left(\frac{e}{m}\right)_{табл}} = 1 - \frac{\left(\frac{e}{m}\right)_{эксп}}{\left(\frac{e}{m}\right)_{табл}} = 1 - \frac{}{1{,}76} = \quad ; \quad (\quad \%).$$

б) абсолютная погрешность измеряемой величины (позволяет записать результат измерений в виде доверительного интервала):

$$\Delta\left(\frac{e}{m}\right) = \left|\left(\frac{e}{m}\right)_{табл} - \left(\frac{e}{m}\right)_{эксп}\right| = \quad \cdot 10^{11}\ \frac{Кл}{кг}.$$

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ

Удельный заряд электрона

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{e}{m}\right)_{эксп} \pm \Delta\left(\frac{e}{m}\right) = (\qquad\qquad)\cdot 10^{11}\ \frac{Кл}{кг}.$$

ВЫВОД

Южно-Уральский государственный университет
Кафедра общей и теоретической физики

Лабораторная работа №9

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРОМАГНЕТИКА ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Выполнил_____

группа _____

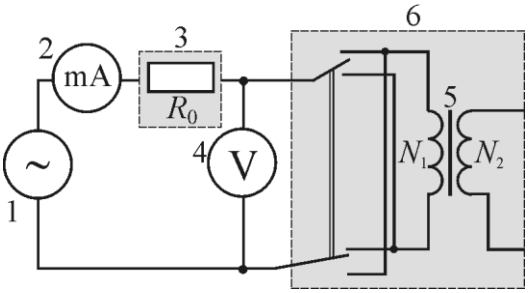
“___”_____20____г.

Проверил _____

“___”_____20____г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

СХЕМА УСТАНОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ



N_1 и N_2 –

1 –

2 –

3 –

4 –

5 –

6 –

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$; Z –

R –

$X_L = \omega L$; X_L –

ω –

$Z = \frac{U}{I}$; L –

U –

I –

$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} S$; μ_r –

N –

l –

S –

K –

H –

B –

$$H = \frac{NI}{l}; \qquad B = \mu_0 \mu_r H;$$

$$K = \frac{l}{\omega \mu_0 N^2 S}; \qquad \mu_r = K \frac{U}{I};$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнитная постоянная.

ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВКИ	U, В	I, мА	H, $\frac{А}{м}$;	μ_r, 10^3 ед.	B, Тл
$N = 100$; $l = 50$ мм; $S = 48$ мм^2; $\omega = 400\pi$ с$^{-1}$; $K = \frac{l}{\omega\mu_0 N^2 S}$.		5,0			
		10,0			
		15,0			
		20,0			
		25,0			
		30,0			
		35,0			
		40,0			
		45,0			
		50,0			
		55,0			

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Расчет напряженности магнитного поля:

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{100\cdot \quad 10^{-3}\ \text{А}}{50\cdot 10^{-3}\ \text{м}} = \qquad \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Расчет магнитной проницаемости сердечника $\boldsymbol{\mu_r}$:

а) постоянная установки

$$K = \frac{l}{\omega\mu_0 N^2 S} = \frac{50\cdot 10^{-3}\ \text{м}}{400\cdot 3{,}14\ \text{с}^{-1}\cdot 4\cdot 3{,}14\cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\cdot 100^2\cdot 48\cdot 10^{-6}\ \text{м}^2} = \qquad \frac{\text{с}}{\text{Гн}}.$$

$$1\ \frac{\text{с}}{\text{Гн}} = 1\ \frac{\text{А}}{\text{В}}.$$

б) магнитная проницаемость ферромагнитного сердечника

$$\mu_r = K\frac{U}{I} =$$

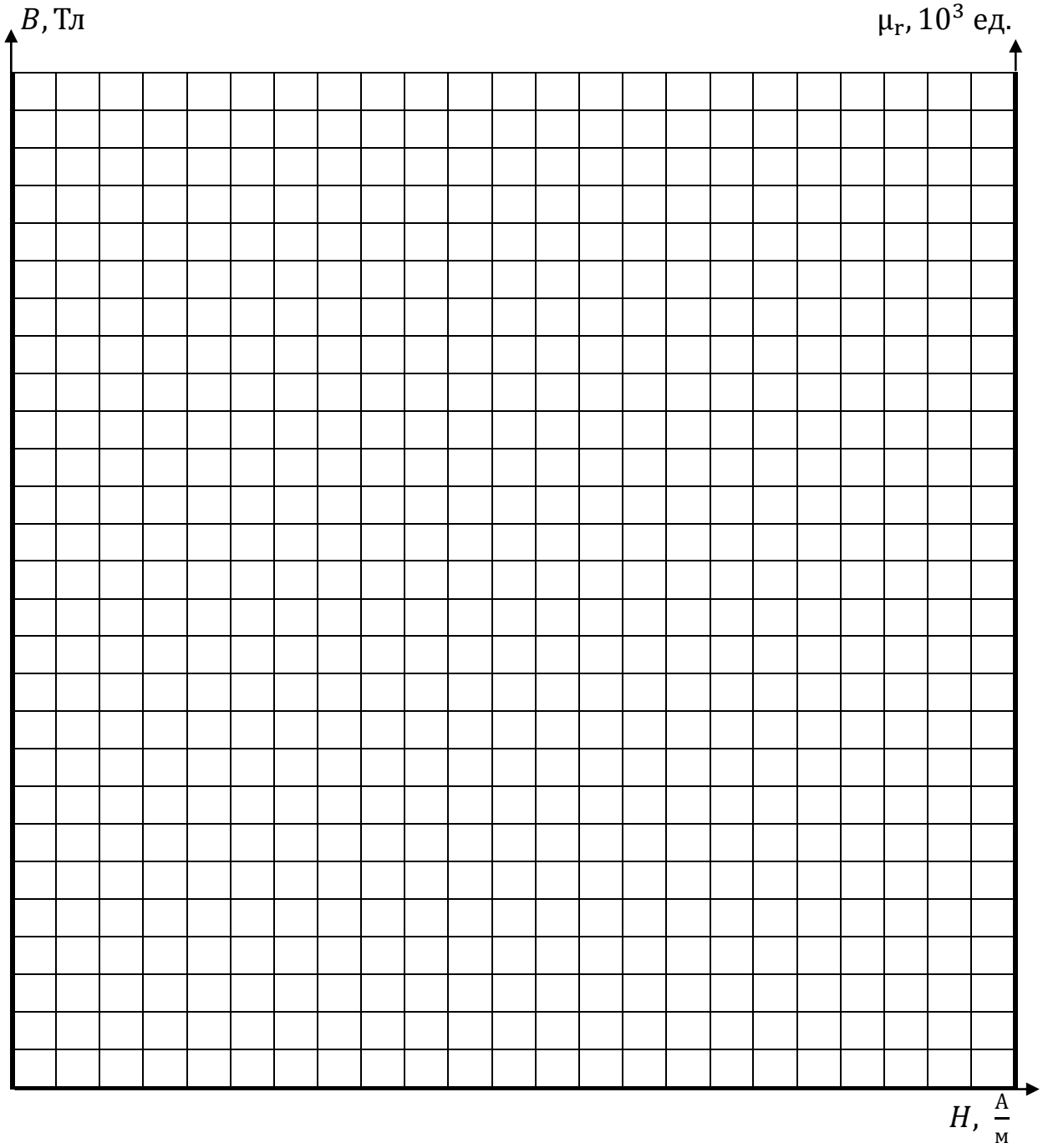
Расчет индукции магнитного поля в ферромагнитном сердечнике:

$$B = \mu_0\mu_r H = 4\cdot 3{,}14\cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Гн}}{\text{м}}\cdot \qquad = \qquad \text{Тл}.$$

Основная кривая намагничивания – $B(H)$

и зависимость $\mu_r(H)$ – магнитной проницаемости ферромагнетика μ_r

от напряженности магнитного поля H



ВЫВОД (анализ формы полученных зависимостей)

8. ПРИЛОЖЕНИЕ 1

8.1. О приближенных вычислениях

Значения исходных величин в физических задачах, в том числе, и физических постоянных, как правило, получены в эксперименте и потому являются приближенными числами. При их записи оставлены только верные цифры числа (обычно это 2 или 3 значащие цифры).

Соответственно, и *результат вычислений* по расчетной формуле с подстановкой приближенных чисел *имеет столько верных цифр, сколько их* содержится *в наименее точном числе* (которое в формуле является слагаемым, сомножителем, или основанием степени).

Результат вычислений, полученный с помощью калькулятора, *округляют, оставляя в нем только верные цифры*.

8.2. Некоторые формулы алгебры и тригонометрии

$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$; $\quad x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$;

$\sin 2x = 2\sin x \cos x$; $\quad \cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$;

$\sin^2 x = \frac{1-\cos 2x}{2}$; $\quad \cos^2 x = \frac{1+\cos 2x}{2}$;

8.3. Основные формулы дифференцирования и интегрирования

Правила дифференцирования

Производная сложной функции $u = f(z)$, $z = \varphi(x)$, т. е. $u = f(\varphi(x))$:

$$u'_x = u'_z \cdot z'_x; \quad \text{или} \quad \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}x} = \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}z}\right) \cdot \left(\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}x}\right);$$

Производная суммы (разности) функций $u = f(x)$, $v = f(x)$:

$$(u \pm v)' = u' \pm v'; \quad \text{или} \quad \frac{\mathrm{d}(u \pm v)}{\mathrm{d}x} = \left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}x}\right) \pm \left(\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\right);$$

Производная произведения функций $u = f(x)$, $v = f(x)$:

$$(u \cdot v)' = u'v \pm v'u; \quad \text{или} \quad \frac{\mathrm{d}(u \cdot v)}{\mathrm{d}x} = v\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}x}\right) + u\left(\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\right); \quad \rightarrow$$

$$(Cu)' = Cu'; \quad \text{или} \quad \frac{\mathrm{d}(C \cdot u)}{\mathrm{d}x} = C\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}x}\right), \text{ где } C = \text{const};$$

Производная частного $\frac{u(x)}{v(x)}$:

$$\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}; \quad \text{или} \quad \frac{\mathrm{d}\left(\frac{u}{v}\right)}{\mathrm{d}x} = \frac{v\left(\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}x}\right) - u\left(\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\right)}{v^2}; \quad \rightarrow$$

$$\left(\frac{u}{C}\right)' = \frac{u'}{C}; \quad \text{и} \quad \left(\frac{C}{v}\right)' = -\frac{Cv'}{v^2}; \quad \text{где } C = \text{const};$$

Производные простейших функций:

$\frac{\mathrm{d}(x^m)}{\mathrm{d}x} = mx^{m-1}$; $\frac{\mathrm{d}(\mathrm{e}^x)}{\mathrm{d}x} = \mathrm{e}^x$; $\frac{\mathrm{d}(\ln x)}{\mathrm{d}x} = \frac{1}{x}$; $\frac{\mathrm{d}(a^x)}{\mathrm{d}x} = a^x \ln a$;

$\frac{\mathrm{d}(\sin x)}{\mathrm{d}x} = \cos x$; $\frac{\mathrm{d}(\cos x)}{\mathrm{d}x} = -\sin x$; $\frac{\mathrm{d}(\mathrm{tg}x)}{\mathrm{d}x} = \frac{1}{\cos^2 x}$; $\frac{\mathrm{d}(\mathrm{ctg}x)}{\mathrm{d}x} = \frac{1}{\sin^2 x}$;

Правила интегрирования

Интеграл суммы (разности) функций $u = u(x)$, $v = v(x)$:

$$\int (u \pm v)\mathrm{d}x = \int u\mathrm{d}x \pm \int v\mathrm{d}x;$$

Постоянный сомножитель C выносят за знак интеграла:

$$\int C \cdot f(x)\mathrm{d}x = C \int f(x)\mathrm{d}x;$$

Метод интегрирования по частям:

$$\int u\mathrm{d}v = uv - \int v\mathrm{d}u;$$

Интегрирование простейших функций:

$\int x^m \,\mathrm{d}x = \frac{1}{(m+1)} x^{m+1}$; (при $m \neq 1$). $\int \frac{\mathrm{d}x}{x^2} = -\frac{1}{x}$; $\int \frac{\mathrm{d}x}{x} = \ln x$;

$\int \sin x\mathrm{d}x = -\cos x$; $\int \cos x \,\mathrm{d}x = \sin x$; $\int \mathrm{e}^x \,\mathrm{d}x = \mathrm{e}^x$;

$\int \sin^2 x \,\mathrm{d}x = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2x}{4}$; $\int \cos^2 x \,\mathrm{d}x = \frac{x}{2} + \frac{\sin 2x}{4}$;

$\int \frac{\mathrm{d}x}{\sqrt{x^2+a^2}} = ln\left|u + \sqrt{x^2 + a^2}\right|$; $\int \frac{\mathrm{d}x}{a^2-x^2} = \frac{1}{2a} ln\left|\frac{a+x}{a-x}\right|$;

8.4. Формулы приближенных вычислений

При $x \ll 1$ можно принять:

$$\frac{1}{1 \pm x} = 1 \mp x; \qquad \frac{1}{\sqrt{1 \pm x}} = 1 \mp \frac{1}{2}x;$$

$$\sqrt{1 \pm x} = 1 \pm \frac{1}{2}x; \qquad \ln(1 + x) = x;$$

$$(1 \mp x)^2 = 1 \pm 2x; \qquad \mathrm{e}^x = 1 + x;$$

Для малого угла α (α < 5°, или α < 0,1 рад), выраженного в радианах, можно принять:

$$\sin\alpha = \mathrm{tg}\,\alpha = \alpha; \qquad \cos\alpha = 1.$$

8.5. Единицы физических величин в СИ

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Связь с основными и дополнительными единицами
Длина	метр	м	
Масса	килограмм	кг	
Время	секунда	с	
Сила электрического тока	ампер	А	
Термодинамическая температура	кельвин	К	
Количество вещества	моль	моль	
Сила света	кандела	кд	
Плоский угол	рад		
Телесный угол	ср		
Площадь	$м^2$	$м^2$	
Объем	$м^3$	$м^3$	
Скорость	$\frac{м}{с}$	$м \cdot с^{-1}$	
Ускорение	$\frac{м}{с^2}$	$м \cdot с^{-2}$	
Угловая скорость	$\frac{рад}{с}$	$рад \cdot с^{-1}$	
Угловое ускорение	$\frac{рад}{с^2}$	$рад \cdot с^{-2}$	
Частота	Гц	$с^{-1}$	
Частота вращения	$с^{-1}$	$с^{-1}$	
Плотность	$\frac{кг}{м^3}$	$м^{-3} \cdot кг$	
Сила	Н	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$	
Давление, механическое напряжение	Па	$1\ Па = 1\ \frac{Н}{м^2} = 1\ м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$	
Динамическая вязкость	$Па \cdot с$	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-1}$	
Импульс	$\frac{кг \cdot м}{с}$	$м \cdot кг \cdot с^{-1}$	
Момент силы	$Н \cdot м$	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$	
Момент импульса	$\frac{кг \cdot м^2}{с}$	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-1}$	
Момент инерции	$кг \cdot м^2$	$м^2 \cdot кг$	

Энергия, работа, количество теплоты		Дж	$1\ \text{Дж} = 1\ \text{Н} \cdot \text{м} = 1\ \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность, поток энергии		Вт	$1\text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1\ \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Температурный градиент		$\frac{\text{К}}{\text{м}}$	$\text{м}^{-1} \cdot \text{К}$
Молярная масса		$\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$;	$\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$
Количество теплоты		Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Теплоемкость, энтропия		$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
Молярная теплоемкость		$\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Теплопроводность		$\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$
Концентрация частиц		м^{-3}	м^{-3}
Коэффициент диффузии		$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
Плотность электрического тока		$\frac{\text{А}}{\text{м}^2}$	$\text{м}^{-2} \cdot \text{А}$
Количество электричества (электрический заряд)		Кл	$1\ \text{Кл} = 1\ \text{с} \cdot \text{А}$
Поверхностная плотность электрического заряда		$\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$	$1\ \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} = 1\ \text{м}^{-2} \cdot \text{с} \cdot \text{А}$
Электрическое напряжение, потенциал, разность потенциалов, ЭДС		В	$1\ \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Напряженность электрического поля		$\frac{\text{В}}{\text{м}}$	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электрическая емкость		Ф	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление		Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Удельное электрическое сопротивление		Ом · м	$\text{м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрическая проводимость		См	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Удельная электрическая проводимость		$\frac{\text{См}}{\text{м}}$	$\text{м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Электрическая постоянная ε_0		$\frac{\text{Ф}}{\text{м}}$	$\text{м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$

Магнитный поток		Вб	$1\ \text{Вб} = \text{В} \cdot \text{с} = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная индукция		Тл	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная постоянная μ_0		$\frac{\text{Гн}}{\text{м}}$	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Напряженность магнитного поля		$\frac{\text{А}}{\text{м}}$	$\text{м}^{-1} \cdot \text{А}$
Энергия излучения		Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность излучения (поток излучения)		Вт	$1\text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1\ \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Интенсивность излучения (плотность потока излучения)		$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$1\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 1\ \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Поток частиц		с^{-1}	с^{-1}
Световой поток		лм	$1\ \text{лм} = 1\ \text{кд} \cdot \text{ср}$
Световая энергия		$\text{лм} \cdot \text{с}$	$\text{с} \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$
Освещенность		лк	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$
Яркость		$\frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кд}$
Оптическая сила		дптр	$1\ \text{дптр} = 1\ \text{м}^{-1}$
Энергетическая светимость		$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$1\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 1\ \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Активность изотопа (активность нуклида в радиоактивном источнике)		Бк	с^{-1}

Примечания

1. Наряду с термодинамической температурой (по шкале Кельвина – обозначение T, единица 1 К) допускается использовать температуру по международной практической шкале (шкала Цельсия – обозначение t, единица 1 °С). По величине градус Цельсия равен кельвину: 1 °С = 1К. Соотношение температур: $T = (t + 273{,}15)$ К.

2. Интервал или разность термодинамических температур выражают в кельвинах. Разность температур по шкале Цельсия допускается выражать как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.

3. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, а также соотношение между внесистемными единицами и единицами СИ смотрите в разделе «Приложения» задачника Чертов, А.Г. Задачник по физике: учебное пособие для втузов / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Издательство Физматлит, 2008. – 640 с.

8.6. Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		между-народное	рус-ское			между-народное	рус-ское
10^{18}	экса	E	Э	10^{-1}	деци	d	д
10^{15}	пета	P	П	10^{-2}	санти	c	с
10^{12}	тера	T	Т	10^{-3}	милли	m	м
10^{9}	гига	G	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{6}	мега	M	М	10^{-9}	нано	n	н
10^{3}	кило	K	К	10^{-12}	пико	p	п
10^{2}	гекто	H	Г	10^{-15}	фемто	f	ф
10^{1}	дека	da	да	10^{-18}	атто	a	а

9. ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ТАБЛИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (справочные)

СОДЕРЖАНИЕ

1. Некоторые астрономические величины ……....100
2. Плотность ρ твердых тел ……...100
3. Плотность ρ жидкостей ……101
4. Плотность ρ газов при нормальных условиях ……101
5. Поверхностное натяжение σ жидкостей при температуре 20 ℃ ..…101
6. Эффективный диаметр d молекулы ……101
7. Теплоемкость c и теплота фазовых переходов воды и льда …….102
8. Диэлектрическая проницаемость ε ……102
9. Удельное сопротивление ρ металлов ……..102
10. Подвижность ионов в газах, $10^{-4}\ \frac{м^2}{В \cdot с}$ ……102
11. Показатель преломления n ..……102
12. Работа выхода A электронов из металла ……103
13. Относительная атомная масса A и порядковый номер Z некоторых элементов ……..103
14. Масса m нейтральных атомов ……..104

15. Период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивных изотопов ……..104
16. Масса m_0 и энергия покоя E_0 некоторых частиц ...……105
17. Основные физические постоянные (округленные значения) .……106

1. Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение
Радиус Земли	$6{,}37 \cdot 10^6$ м
Масса Земли	$5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6{,}95 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$1{,}98 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Луны	$1{,}74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7{,}33 \cdot 10^{22}$ кг
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1{,}49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3{,}84 \cdot 10^8$ м

2. Плотность ρ твердых тел

Твердое тело	Плотность, $10^3\ \frac{кг}{м^3}$	Твердое тело	Плотность, $10^3\ \frac{кг}{м^3}$
Алюминий	2,70	Медь	8,93
Барий	3,50	Никель	8,80
Вольфрам	19,3	Свинец	11,3
Висмут	9,80	Серебро	10,5
Железо	7,88	Цезий	1,90
Литий	0,53	Цинк	7,15

3. Плотность ρ жидкостей

Жидкость	Плотность, $10^3\ \frac{кг}{м^3}$	Жидкость	Плотность, $10^3\ \frac{кг}{м^3}$
Вода (при $t = 4$ °C)	1,00	Ртуть	13,6
Глицерин	1,26	Сероуглерод	1,26
Масло смазочное	0,90	Спирт	0,80

4. Плотность ρ газов при нормальных условиях

Газ	Плотность, $\frac{кг}{м^3}$	Газ	Плотность, $\frac{кг}{м^3}$
Водород	0,09	Гелий	0,18
Воздух	1,29	Кислород	1,43

5. Поверхностное натяжение σ жидкостей при температуре 20 °C

Жидкость	Поверхностное натяжение, $\frac{мН}{м}$	Жидкость	Поверхностное натяжение, $\frac{мН}{м}$
Вода	72	Спирт	22
Мыльная вода	40	Ртуть	500

6. Эффективный диаметр d молекулы

Газ	Эффективный диаметр, нм	Газ	Эффективный диаметр, нм
Азот	0,38	Гелий	0,22
Водород	0,28	Кислород	0,36

7. Теплоемкость c и теплота фазовых переходов воды и льда

Величина	Значение
Удельная теплоемкость воды	$4{,}18 \cdot 10^3 \ \frac{Дж}{кг \cdot К}$
Удельная теплоемкость льда	$2{,}10 \cdot 10^3 \ \frac{Дж}{кг \cdot К}$
Удельная теплота плавления льда	$3{,}33 \cdot 10^5 \ \frac{Дж}{кг}$
Удельная теплота парообразования воды	$2{,}25 \cdot 10^6 \ \frac{Дж}{кг}$

8. Диэлектрическая проницаемость ε

Вещество	Диэлектрическая проницаемость	Вещество	Диэлектрическая проницаемость
Парафин	2,0	Вода	81
Стекло	7,0	Масло трансформаторное	2,2

9. Удельное сопротивление ρ металлов

Металл	Удельное сопротивление, $нОм \cdot м$	Металл	Удельное сопротивление, $нОм \cdot м$
Алюминий	26	Медь	17
Вольфрам	55	Нихром	$1{,}1 \cdot 10^3$
Железо	98	Серебро	16

10. Подвижность ионов в газах, $10^{-4} \ \frac{м^2}{В \cdot с}$

Газ	Положительные ионы	Отрицательные ионы
Азот	1,27	1,81
Водород	5,4	7,4
Воздух	1,4	1,9

11. Показатель преломления n

Вещество	Показатель преломления	Вещество	Показатель преломления
Вода	1,33	Стекло	1,5 – 1,7
Глицерин	1,47	Алмаз	2,42

12. Работа выхода A электронов из металла

Металл	$A, 10^{-19}$ Дж	A, эВ
Калий	3,5	2,2
Литий	3,7	2,3
Платина	10,1	6,3
Рубидий	3,4	2,1
Серебро	7,5	4,7
Цезий	3,2	2,0
Цинк	6,4	4,0

13. Относительная атомная масса A и порядковый номер Z некоторых элементов

Элемент	Символ	A	Z	Элемент	Символ	A	Z
Азот	N	14	7	Медь	Cu	64	29
Алюминий	Al	27	13	Молибден	Mo	96	42
Аргон	Ar	40	18	Натрий	Na	23	11
Водород	H	1	1	Неон	Ne	20	10
Вольфрам	W	184	74	Никель	Ni	59	28
Гелий	He	4	2	Олово	Sn	119	50
Железо	Fe	56	26	Платина	Pt	195	78
Золото	Au	197	79	Ртуть	Hg	201	80
Калий	K	39	19	Сера	S	32	16
Кальций	Ca	40	20	Серебро	Ag	108	47
Кислород	O	16	8	Уран	U	238	92
Магний	Mg	24	12	Углерод	C	12	6
Марганец	Mn	55	25	Хлор	Cl	35	17

14. Масса m нейтральных атомов

Изотоп	Символ	Масса, а. е. м.	Изотоп	Символ	Масса, а. е. м.
Нейтрон	${}^{1}_{0}n$	1,00867	Углерод	${}^{12}_{6}C$ ${}^{13}_{6}C$ ${}^{14}_{6}C$	12,00000 13,00335 14,00324
Водород	${}^{1}_{1}H$ ${}^{2}_{1}H$ ${}^{3}_{1}H$	1,00783 2,01410 3,01605	Азот	${}^{14}_{7}N$	14,00307
Гелий	${}^{3}_{2}He$ ${}^{3}_{2}He$	3,01603 4,00260	Кислород	${}^{16}_{8}O$ ${}^{17}_{8}O$	15,99491 16,99913
			Алюминий	${}^{27}_{13}Al$	26,98154
Литий	${}^{6}_{3}Li$ ${}^{7}_{3}Li$	6,01513 7,01601	Кальций	${}^{40}_{20}Ca$	39,96257
Бериллий	${}^{7}_{4}Be$ ${}^{8}_{4}Be$ ${}^{9}_{4}Be$	7,01693 8,00531 9,01219			
Бор	${}^{10}_{5}B$ ${}^{11}_{5}B$	10,01294 11,00930			

15. Период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада	Изотоп	Символ	Период полураспада
Магний	${}^{27}_{12}Mg$	10 мин	Церий	${}^{144}_{58}Ce$	285 сут
Фосфор	${}^{32}_{15}P$	14,3 сут	Иридий	${}^{192}_{77}Ir$	75 сут
Кобальт	${}^{60}_{27}Co$	5,3 года	Радон	${}^{222}_{86}Rn$	3,8 сут
Стронций	${}^{90}_{38}Sr$	28 лет	Радий	${}^{226}_{88}Ra$	$1{,}62 \cdot 10^3$ лет
Йод	${}^{131}_{53}I$	8 сут	Актиний	${}^{225}_{89}Ac$	10 сут

16. Масса m_0 и энергия покоя E_0 некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а. е. м.	Дж	МэВ
Электрон	$0{,}911 \cdot 10^{-30}$	0,00055	$0{,}816 \cdot 10^{-13}$	0,511
Протон	$1{,}672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1{,}50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3{,}35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3{,}00 \cdot 10^{-10}$	1876
α-частица	$6{,}64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5{,}96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный π-мезон	$2{,}41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2{,}16 \cdot 10^{-11}$	135

17. Основные физические постоянные (округленные значения)

Название	Значение
Ускорение свободного падения	$g = 9{,}81\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;
Гравитационная постоянная	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{м}^3}{\text{кг}\cdot\text{с}^2}$;
Постоянная Авогадро	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \text{моль}^{-1}$;
Молярная газовая постоянная	$R = 8{,}31\ \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$;
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$;
Элементарный заряд	$e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл;
Масса электрона	$m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг;
Удельный заряд электрона	$\frac{e}{m} = 1{,}76 \cdot 10^{11}\ \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$;
Скорость света в вакууме	$c = 3{,}00 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$;
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$;
Постоянная Стефана – Больцмана	$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}^4}$;
Постоянная закона смещения Вина	$b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ м · К;
Постоянная Планка	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с;
	$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Дж · с;
Постоянная Ридберга	$R = 1{,}097 \cdot 10^{7}\ \text{м}^{-1}$;
	$R' = 3{,}29 \cdot 10^{15}\ \text{с}^{-1}$;
Радиус первой боровской орбиты	$a = 0{,}529 \cdot 10^{-10}$ м;
Комптоновская длина волны электрона	$\Lambda = 2{,}43 \cdot 10^{-12}$ м;
Магнетон Бора	$\mu_B = 0{,}927 \cdot 10^{-23}\ \text{А} \cdot \text{м}^2$;
Энергия ионизации атома водорода	$E_i = 2{,}18 \cdot 10^{-18}$ Дж $= 13{,}6$ эВ;
Атомная единица массы	$1\ \text{а.е.м.} = 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг;
Коэффициент пропорциональности между энергией и массой	$c^2 = 9 \cdot 10^{16}\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 931\ \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}$