

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»**

Кафедра физики

Составители  
С. А. Шепелева А. А. Фофанов

## **ФИЗИКА**

Методические указания к практическим работам  
по разделам **«Механика и молекулярная физика»**  
и **«Электричество и магнетизм»**

Рекомендовано учебно-методическими комиссиями  
направлений подготовки 08.03.01 Строительство, 43.03.01 Сервис  
в качестве электронного издания для использования  
в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты:

Покатилов А.В. – кандидат технических наук, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 08.03.01 Строительство

Ким Т. Л. – заведующий кафедрой физики

**Шепелева Софья Алексеевна**

**Фофанов Андрей Алексеевич**

**Физика:** методические указания к практическим работам по разделам «**Механика и молекулярная физика**» и «**Электричество и магнетизм**» [Электронный ресурс] для обучающихся направлений подготовки 08.03.01 Строительство, профиль Организация инвестиционно-строительной деятельности; 43.03.01 Сервис, профиль Сервис недвижимости и жилищно-коммунальной инфраструктуры / сост. С. А. Шепелева, А. А. Фофанов; КузГТУ. – Кемерово, 2019.

В методических указаниях приведено содержание практических работ по разделам физики «**Механика и молекулярная физика**» и «**Электричество и магнетизм**», список литературы.

© КузГТУ, 2019

© Шепелева С. А.,

Фофанов А. А.,

составление, 2019

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	3
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1.1 .....	6
«МЕХАНИКА» .....	6
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.1 .....	18
«ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК» .....	18
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.2 .....	24
«МАГНИТНОЕ ПОЛЕ» .....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	30

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Целями освоения дисциплины «Физика» обучающимися являются изучение физических явлений и законов природы, установление границ их применимости.

Изучение курса физики позволит обучающимся направления «Строительство» выработать основы естественнонаучного мировоззрения, познакомиться с историей развития физики как науки, ее основными законами и открытиями, что особенно важно при дальнейшем изучении дисциплин общеинженерного цикла, а также дисциплин специализации.

Изучение курса физики способствует формированию у обучающихся научного мировоззрения и современного физического мышления. В процессе изучения курса обучающийся должен усвоить основные физические законы классической и современной физики, освоить методы физического исследования и приемы решения конкретных задач из разных областей физики, которые помогут в дальнейшем решать инженерные задачи.

Основной формой обучения является самостоятельная работа по учебникам и учебным пособиям. Выполнение практических работ способствует систематизации и закреплению полученных теоретических знаний.

Задачи подобраны таким образом, чтобы при их решении обучающийся проработал основную часть обязательного программного материала, что поможет успешно пройти контроль знаний (зачет, экзамен).

В каждой контрольной работе обучающийся должен решить по ПЯТЬ ЗАДАЧ того варианта, номер которого совпадает с ПОСЛЕДНЕЙ ЦИФРОЙ шифра зачетной книжки. Например, последняя цифра шифра 1, следовательно, решаются задачи под номерами: 1.1, 1.11, 1.21, 1.31, 1.41 практической работы № 1.1.

На титульном листе практической работы указывают название дисциплины, номер практической работы, фамилию и инициалы обучающегося и шифр.

В конце работы следует указать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач.

Условия задач практических работ ПЕРЕПИСЫВАЮТСЯ

ПОЛНОСТЬЮ, решения задач сопровождаются исчерпывающими пояснениями с использованием рисунков и схем. Задачи решаются в общем виде с проверкой размерности полученного результата. Значения величин при подстановке в расчётную формулу должны быть выражены в единицах СИ (SI). В виде исключения допускается использование других, но непременно одинаковых в числителе и знаменателе единиц измерения.

Если практическая работа при рецензировании не зачтена, обучающийся обязан представить её на повторную рецензию, включив в неё те задачи, решения которых оказались неверными. Работа над ошибками не зачтенной практической работы производится В ТОМ ЖЕ ДОКУМЕНТЕ.

К контролю знаний по каждому разделу дисциплины (тестирование) допускаются обучающиеся, успешно выполнившие практические работы.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] : учебное пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – Москва : Академия, 2007. – 560 с.

2. Савельев, И. В. Курс физики (в 3 тт.). Том 1. Механика. Молекулярная физика: учебное пособие. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 356 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/106894>. – Загл. с экрана.

3. Савельев, И. В. Курс физики (в 3 тт.). Том 2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 468 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/100927>. – Загл. с экрана.

### Дополнительная литература

1. Трофимова, Т. И. Физика: 400 основных законов и формул [Текст] : справочник для вузов / Т. И. Трофимова. – Москва : Высшая школа, 1993. – 46 с.

2. Савельев, И. В. Курс физики (в 3 тт.). Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 308 с.

Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=71763](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71763). – Загл. с экрана.

3. Чертов, А. Г. Задачник по физике [Текст] : [учебное пособие для втузов] / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – Москва : Физматлит, 2009. – 640 с.

4. Фирганг, Е. В. Руководство к решению задач по курсу общей физики [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим и технологическим направлениям и специальностям / Е. В. Фирганг. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 352 с.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1.1**  
**«МЕХАНИКА»**

1.1–1.5. Прямолинейное движение тела вдоль оси  $X$  описывается уравнением вида  $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ . Для момента времени  $t_1$  (табл. 1) определить координату, мгновенную скорость и мгновенное ускорение тела. Найти среднюю скорость тела (путевую и перемещения) и среднее ускорение за первые четыре секунды движения. На рисунке показать направление всех векторов.

Таблица 1

Задача	$A$	$B$	$C$	$D$	$t_1$
	м	м/с	м/с <sup>2</sup>	м/с <sup>3</sup>	с
1.1	1	-2	1	3	2
1.2	-2	3	2	-4	3
1.3	3	-4	3	5	1,5
1.4	-4	5	4	-2	2
1.5	5	-6	5	3	3

1.6–1.10. Колесо радиуса  $R$  вращается вокруг оси так, что зависимость угла поворота от времени имеет вид  $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ . Определить угловую скорость, угловое ускорение, линейную скорость, нормальное, тангенциальное и полное ускорения точки, лежащей на ободе колеса, через время  $t_1$  (табл. 2) после начала движения. На рисунке показать направление всех векторов.

Таблица 2

Задача	$R$	$A$	$B$	$C$	$D$	$t_1$
	м	рад	рад/с	рад/с <sup>2</sup>	рад/с <sup>3</sup>	с
1.6	0,9	-1	4	1	-2	2,5
1.7	0,75	2	-5	2	6	3,5
1.8	0,5	-3	-6	3	5	2
1.9	0,35	4	-2	4	4	3
1.10	0,7	-5	3	2	-2	2

1.11–1.15. Тело массой  $m$  и радиусом  $R$  вращается относительно неподвижной оси  $Z$ . Зависимость угловой скорости  $\omega$  от времени  $t$  приведена на рис. 1.

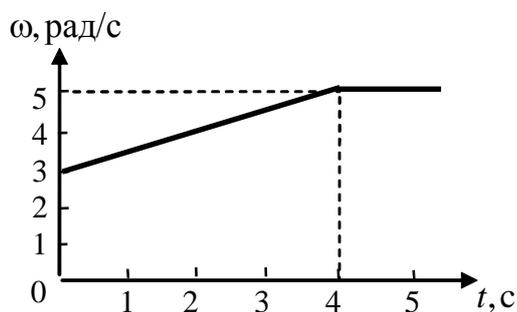
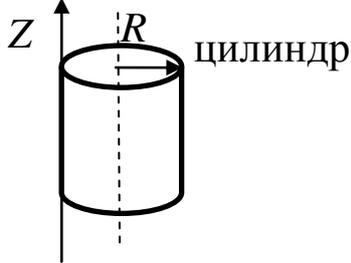
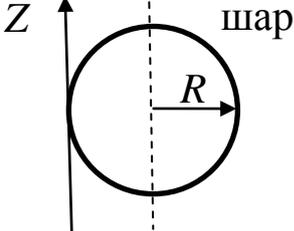
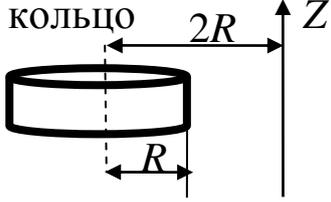


Рисунок 1

Для заданной формы тела и положения его относительно оси вращения (табл. 3) в момент времени  $t$  найти: проекцию момента импульса  $L_z$  тела, проекцию момента силы  $M_z$ , действующей на тело, кинетическую энергию  $W_k$ , тела, работу  $A$  момента силы за указанный промежуток времени  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Таблица 3

№ задачи	Форма тела, положение оси вращения	$m$ , кг	$R(\ell)$ , м	$t$ , с	$t_1$ , с	$t_2$ , с
1.11	 цилиндр	2	0,1	4	1	4
1.12	 шар	1	0,2	2	0	1,5
1.13	 стержень	0,5	1,5	3	1	3

№ задачи	Форма тела, положение оси вращения	$m$ , кг	$R(\ell)$ , м	$t$ , с	$t_1$ , с	$t_2$ , с
1.14		0,1	0,02	2	1	5
1.15		0,2	2	1	2	4

1.16–1.20. Тело массой  $m$  движется прямолинейно вдоль оси  $OX$ . Зависимость проекции скорости  $v_x$  от времени  $t$  приведена на рис. 2.

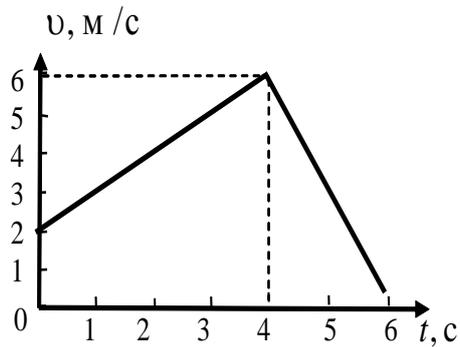


Рисунок 2

Для заданного момента времени  $t$  (табл. 4) найти проекцию импульса  $p_x$  тела, проекцию силы  $F_x$ , действующей на тело, кинетическую энергию  $W_k$  тела, работу  $A$  силы за указанный промежуток времени  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Таблица 4

№ задачи	$m$ , кг	$t$ , с	$t_1$ , с	$t_2$ , с
1.16	2	2	0	3
1.17	3	1	2	4
1.18	0,5	4	4	5
1.19	1,5	5	4	6
1.20	1,2	3	2	4

1.21. Тело массой  $m_1 = 0,5$  кг ударяется о неподвижное тело массой  $m_2 = 5$  кг, которое после удара начинает двигаться с кинетической энергией  $W_{к2} = 5$  Дж. Считая удар центральным и упругим, найти кинетическую энергию первого тела до и после удара.

1.22. Человек массой  $m_1 = 60$  кг, бегущий со скоростью  $v_1 = 2,5$  м/с, догоняет тележку массой  $m_2 = 80$  кг, движущуюся со скоростью  $v_2 = 0,8$  м/с, и вскакивает на неё. Найти кинетическую энергию тележки с человеком и время движения до полной остановки, если коэффициент трения при движении тележки  $\mu = 0,04$ .

1.23. Шар массой  $m_1 = 8$  кг сталкивается с шаром массой  $m_2 = 5$  кг. Скорость первого шара  $v_1 = 4$  м/с, второго –  $v_2 = 12$  м/с. Найти скорость шаров после удара и их кинетическую энергию, если шары движутся навстречу друг другу. Удар считать прямым, центральным, неупругим.

1.24. На железной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием  $m_1 = 1,5 \cdot 10^3$  кг. Орудие стреляет под углом  $\varphi = 60^\circ$  к горизонту в направлении железнодорожного пути. Какую кинетическую энергию получает орудие с платформой вследствие отдачи, если масса снаряда  $m_2 = 30$  кг, и он вылетает со скоростью 500 м/с?

1.25. Масса снаряда  $m_1 = 10$  кг, масса ствола орудия  $m_2 = 600$  кг. При выстреле снаряд получает кинетическую энергию  $W_{к1} = 1,8 \cdot 10^6$  Дж. Определить кинетическую энергию, получаемую стволом орудия вследствие отдачи?

1.26. Стержень длиной  $\ell = 1,5$  м и массой  $m = 10$  кг может вращаться вокруг неподвижной оси, проходящей через верхний конец стержня. В середине стержня застревает пуля массой  $m_1 = 10$  г, летевшая в горизонтальном направлении со скоростью  $v_1 = 500$  м/с. На какой угол  $\varphi$  отклонится стержень после удара?

1.27. Человек стоит на скамье Жуковского и ловит рукой мяч массой  $m = 0,4$  кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью  $v = 20$  м/с. Траектория мяча проходит на расстоянии  $\ell = 0,8$  м от вертикальной оси  $Z$  вращения скамьи. С какой угловой скоростью  $\omega$  начнет вращаться скамья Жуковского с человеком, поймавшим мяч? Считать, что суммарный момент

инерции человека и скамьи  $J_Z = 6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

1.28. На краю горизонтальной платформы, имеющей форму диска радиусом  $R = 2 \text{ м}$ , стоит человек. Масса платформы  $m_1 = 200 \text{ кг}$ , масса человека  $m_2 = 80 \text{ кг}$ . Платформа может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через её центр. Найти угловую скорость  $\omega$  вращения платформы, если человек будет идти вдоль её края со скоростью  $v = 2 \text{ м/с}$  относительно Земли? Трением пренебречь.

1.29. Определить момент инерции проволочного равностороннего треугольника со стороной  $0,1 \text{ м}$  относительно оси, совпадающей с одной из сторон. Масса треугольника  $12 \text{ г}$  равномерно распределена по длине проволоки.

1.30. Три маленьких шарика массой  $m = 10 \text{ г}$  каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника и скреплены между собой. Сторона треугольника  $a = 20 \text{ см}$ . Определить момент инерции относительно оси: 1) перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через центр описанной окружности; 2) лежащей в плоскости треугольника и проходящей через центр описанной окружности и одну из вершин треугольника. Массой стержней, соединяющих шары, пренебречь.

1.31. Вычислить момент инерции проволочного прямоугольника со сторонами  $a = 12 \text{ см}$ ,  $b = 16 \text{ см}$  относительно оси, лежащей в плоскости прямоугольника и проходящей через середины малых сторон. Масса равномерно распределена по длине проволоки с линейной плотностью  $\tau = 0,15 \text{ кг/м}$ .

1.32. Диаметр диска  $20 \text{ см}$ , масса  $800 \text{ г}$ . Определить момент инерции  $I$  диска относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно к плоскости диска.

1.33. Длина одной стороны плоской однородной прямоугольной пластины  $a = 40 \text{ см}$ , масса  $m = 800 \text{ г}$ . Найти момент инерции пластины относительно оси, совпадающей со второй её стороной.

1.34. Определить момент инерции тонкой плоской пластины со сторонами  $a = 10 \text{ см}$ ,  $b = 20 \text{ см}$  относительно оси, проходящей через центр тяжести пластины параллельно большей стороне. Масса пластины равномерно распределена по её площади с поверхностной плотностью  $\sigma = 0,1 \text{ кг/м}^2$ .

1.35. На конце тонкого стержня длиной  $\ell = 60$  см укреплен шарик массой  $m = 50$  г. Пренебрегая размерами шарика, определить момент инерции системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину. Масса распределена вдоль стержня равномерно с линейной плотностью  $\tau = 0,1$  кг/м.

1.36. Тонкий стержень длиной  $\ell = 0,2$  м и массой, равномерно распределённой с линейной плотностью  $\tau = 0,2$  кг/м, согнут пополам под прямым углом. Определить момент инерции стержня относительно оси, проходящей через конец стержня и лежащей в плоскости изогнутого стержня.

1.37. Длина тонкого стержня  $\ell = 0,6$  м. Определить момент инерции стержня относительно оси, перпендикулярной к его длине и проходящей через точку стержня, удалённую на  $0,2$  м от одного из концов. Масса распределена равномерно с линейной плотностью  $\tau = 0,15$  кг/м.

1.38. Определить момент инерции проволочного равностороннего треугольника со стороной  $a = 10$  см относительно оси, лежащей в плоскости треугольника и проходящей через его вершину параллельно стороне, противоположной этой вершине. Масса треугольника равна  $12$  г и равномерно распределена по длине проволоки.

1.39. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой  $m = 60$  кг. На какой угол  $\varphi$  повернется платформа массой  $m_1 = 240$  кг, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя её, вернется в исходную точку на платформе?

1.40. Тонкий прямой стержень длиной  $\ell = 1$  м может вращаться вокруг неподвижной оси, проходящей через верхний конец стержня. Стержень отклонили на угол  $\varphi = 60^\circ$  от положения равновесия и отпустили. Определить линейную скорость  $v$  нижнего конца стержня в момент прохождения его через положение равновесия.

1.41. К стальному стержню длиной  $\ell = 3$  м и диаметром  $d = 2$  см подвешен груз массой  $m = 2,5 \cdot 10^3$  кг. Определить напряжение  $\sigma$  в стержне, относительное  $\varepsilon$  и абсолютное  $\Delta \ell$  удлинение стержня. Модуль Юнга для стали  $E = 200$  ГПа.

1.42. Какой наибольший груз может выдержать стальная проволока диаметром 1 мм, если предел упругости 294 МПа? Какую долю первоначальной длины составляет удлинение проволоки при этом грузе?

1.43. Пружина жёсткостью  $k = 500$  Н/м сжата силой 100 Н. Определить работу внешней силы, дополнительно сжимающей пружину ещё на  $\Delta\ell = 2$  см.

1.44. Какую работу  $A$  нужно совершить, чтобы пружину жёсткостью  $k = 800$  Н/м, сжатую на  $\Delta\ell_1 = 6$  см, дополнительно сжать на  $\Delta\ell_2 = 8$  см.

1.45. К вертикальной проволоке длиной  $\ell = 5$  м и площадью поперечного сечения  $S = 2$  мм<sup>2</sup> подвешен груз массой  $m = 5,1$  кг. В результате проволока удлинилась на  $\Delta\ell = 0,6$  мм. Найти модуль Юнга  $E$  материала проволоки.

1.46. Вода течёт в горизонтально расположенной трубе переменного сечения. Скорость  $v_1$  воды в широкой части трубы равна 20 см/с. Определить скорость  $v_2$  в узкой части трубы, диаметр  $d_2$  которой в 1,5 раза меньше диаметра  $d_1$  широкой части.

1.47. Нижнее основание железного цилиндра диаметром  $d = 20$  см и высотой  $h = 20$  см закреплено неподвижно. На верхнее основание цилиндра действует горизонтальная сила  $F = 20$  кН. Найти тангенциальное напряжение  $\tau$  в материале, угол  $\gamma$  сдвига и смещение  $\Delta x$  верхнего основания цилиндра. Модуль сдвига для железа  $G = 76$  ГПа.

1.48. Какой наибольший груз может выдержать стальная проволока диаметром  $d = 1$  мм, если предел упругости  $\sigma_{\text{упр}} = 294$  МПа? Какую долю первоначальной длины составляет удлинение проволоки при этом грузе?

1.49. Какая работа будет совершена силами гравитационного поля при падении на Землю из бесконечности тела массой  $m = 10$  кг, если масса Земли  $M_3 = 5,98 \cdot 10^{24}$  кг и её радиус  $R_3 = 6,37 \cdot 10^6$  м?

1.50. С высоты  $h = 1000$  км на поверхность Земли падает метеорит  $m = 30$  кг. Определить работу  $A$  сил гравитационного поля Земли, если известны ускорение свободного падения у поверхности Земли  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> и радиус Земли  $R_3 = 6,37 \cdot 10^6$  м.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1.2 «МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА»

1.1. Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle$  вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре  $T = 350 \text{ К}$ , а также суммарную кинетическую энергию  $W_{\text{вр}}$  вращательного движения всех молекул, содержащихся в кислороде массой  $m = 4 \text{ г}$ .

1.2. Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle$  вращательного движения одной молекулы водорода, а также суммарную кинетическую энергию  $W_{\text{вр}}$  всех молекул, содержащихся в одном моле водорода при температуре  $T = 190 \text{ К}$ .

1.3. Газ занимает объем  $V = 2 \text{ л}$  под давлением  $p = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Определить суммарную кинетическую энергию  $W_{\text{п}}$  поступательного движения молекул газа.

1.4. Одноатомный газ массой  $2 \text{ кг}$  находится под давлением  $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и имеет плотность  $5 \text{ кг/м}^3$ . Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях.

1.5. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа, заключённого в сосуде объёмом  $1 \text{ л}$  под давлением  $100 \text{ кПа}$ . Масса газа  $0,5 \text{ г}$ .

1.6. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше их наиболее вероятной скорости на  $120 \text{ м/с}$ ?

1.7. Давление воздуха на уровне моря  $750 \text{ мм рт. ст.}$ , а на вершине горы –  $600 \text{ мм рт. ст.}$ . Какова высота горы, если температура воздуха равна  $10^\circ\text{С}$ ?

1.8. На какой высоте плотность газа составляет  $60 \%$  от плотности его на уровне моря? Температуру считать постоянной и равной  $0^\circ\text{С}$ . Задачу решить для: 1) воздуха; 2) углекислого газа.

1.9. Найти среднюю длину свободного пробега молекул водорода при температуре  $50^\circ\text{С}$  и давлении  $100 \text{ Па}$ .

1.10. Найти среднее число столкновений в единицу времени молекулы кислорода при давлении  $100 \text{ кПа}$  и температуре  $25^\circ\text{С}$ .

1.11. Под каким давлением находится в баллоне азот, если ёмкость баллона  $20 \text{ л}$ , а кинетическая энергия поступательного движения всех молекул водорода равна  $12,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ ?

1.12. Под каким давлением находится газ, плотность которого  $8 \cdot 10^{-4}$  г/см<sup>3</sup>, если средняя квадратичная скорость его молекул 500 м/с?

1.13. Чему равна кинетическая энергия поступательного движения всех молекул, содержащихся в одном моле и в 1 кг неона при температуре 500 К?

1.14. Определить наиболее вероятную скорость  $v_B$  молекул газа при давлении  $p = 40$  кПа, если при данных условиях его плотность  $\rho = 0,35$  кг/м<sup>3</sup>.

1.15. Колба емкостью  $V = 4$  л содержит некоторый газ массой  $m = 0,6$  г под давлением  $p = 2 \cdot 10^5$  Па. Определить среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{KB} \rangle$  молекул газа.

1.16. Коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях  $D = 0,91$  см<sup>2</sup>/с. Определить коэффициент теплопроводности  $\lambda$  водорода.

1.17. Средняя длина  $\langle \ell \rangle$  свободного пробега атомов гелия при нормальных условиях равна  $1,8 \cdot 10^{-7}$  см. Определить коэффициент диффузии  $D$  гелия при этих условиях.

1.18. При нормальных условиях динамическая вязкость азота  $\eta = 17$  мкПа·с. Определить среднюю длину  $\langle \ell \rangle$  свободного пробега молекул газа.

1.19. Азот находится под давлением  $p = 100$  кПа при температуре  $T = 290$  К. Определить коэффициент диффузии  $D$  и коэффициент внутреннего трения  $\eta$ . Эффективный диаметр  $d$  молекул азота принять равным 0,38 нм.

1.20. Определить плотность  $\rho$  кислорода, если средняя длина свободного пробега его молекул  $\langle \ell \rangle = 0,1$  см.

1.21. Водород занимает объем  $V = 10$  м<sup>3</sup> при давлении  $10^5$  Па. Газ нагрели при постоянном объёме до давления  $3 \cdot 10^5$  Па. Определить изменение  $\Delta U$  внутренней энергии газа, работу  $A$ , совершаемую газом, и теплоту  $Q$ , сообщённую газу.

1.22. Кислород нагревается при неизменном давлении  $p = 8 \cdot 10^4$  Па, при этом его объем увеличивается от  $V_1 = 1$  м<sup>3</sup> до  $V_2 = 3$  м<sup>3</sup>. Определить изменение  $\Delta U$  внутренней энергии кислорода, работу  $A$ , совершаемую им при расширении, а также теплоту  $Q$ , сообщённую газу.

1.23. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему была сообщена теплота  $Q = 2,1 \cdot 10^5$  Дж. Какую работу  $A$  совершил при этом газ? Каково было изменение  $\Delta U$  внутренней энергии?

1.24. Азот массой  $m = 0,1$  кг был изобарно нагрет от температуры  $T_1 = 200$  К до температуры  $T_2 = 400$  К. Определить работу  $A$ , совершенную газом, полученную им теплоту  $Q$  и изменение  $\Delta U$  внутренней энергии азота.

1.25. Объем водорода при изотермическом расширении ( $T = 300$  К) увеличился в  $n = 3$  раза. Определить работу  $A$ , совершенную газом, и теплоту  $Q$ , полученную им при этом. Масса водорода  $m = 200$  г.

1.26. При изотермическом расширении одного моля водорода, имевшего температуру  $T = 300$  К, затрачена теплота  $Q = 2$  кДж. Во сколько раз увеличился объем газа?

1.27. В цилиндре под поршнем находится азот массой 20 г. Газ был нагрет от температуры  $T_1 = 300$  К до температуры 450 К при постоянном давлении. Определить теплоту  $Q$ , переданную газу, совершенную газом работу  $A$  и приращение  $\Delta U$  внутренней энергии.

1.28. При изотермическом расширении водорода массой  $m = 1$  г объем газа увеличился в два раза. Определить работу  $A$  расширения, совершенную газом, если температура газа 300 К. Определить теплоту  $Q$ , переданную при этом газу.

1.29. 1 кмоль азота, находящегося при нормальных условиях, расширяется адиабатически от  $V_1$  до  $V_2 = 5V_1$ . Найти: 1) изменение внутренней энергии  $\Delta U$  газа; 2) работу  $A$ , совершенную при расширении.

1.30. При адиабатическом расширении кислорода с начальной температурой  $t_0 = 47$  °С внутренняя энергия уменьшилась на 8400 Дж. Определить массу  $m$  кислорода, если объем увеличился в 10 раз.

1.31. Определить количество теплоты, которое надо сообщить кислороду объемом 50 л при его изохорном нагревании, чтобы давление газа повысилось на 0,5 МПа.

1.32. При изотермическом расширении 0,2 кг азота при температуре 280 К его объем увеличился в 2 раза. Определить: 1) совершенную при расширении газа работу; 2) изменение внутрен-

ней энергии; 3) количество теплоты, полученное газом.

1.33. При адиабатном сжатии давление воздуха было увеличено от 50 кПа до 0,5 МПа. Затем при неизменном объёме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление газа в конце процесса.

1.34. Кислород массой 200 г занимает объём 100 л и находится под давлением 200 кПа. При нагревании газ расширился до объёма 300 л, а затем его давление возросло до 500 кПа при неизменном объёме. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную газом работу и теплоту, переданную газу. Построить график процесса.

1.35. Объём водорода при изотермическом расширении при температуре 300 К увеличился в 3 раза. Определить работу, совершенную газом, и теплоту, полученную при этом. Масса водорода 200 г.

1.36. Азот массой 100 г был изобарно нагрет от 200 К до 400 К. Определить работу, совершенную газом, полученную им теплоту и изменение внутренней энергии азота.

1.37. Во сколько раз увеличится объём водорода, содержащий количество вещества 0,4 моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит количество теплоты 800 Дж? Температура водорода 300 К.

1.38. Какая работа совершается при изотермическом расширении водорода массой 5 г, взятого при температуре 290 К, если объём газа увеличивается в 3 раза?

1.39. Какая доля количества теплоты, подводимого к идеальному газу при изобарном процессе, расходуется на изменение внутренней энергии газа, и какая доля на работу расширения? Рассмотреть 3 случая, если газ: 1) одноатомный; 2) двухатомный; 3) трехатомный.

1.40. Определить работу, которую совершит азот, если ему при постоянном давлении сообщить количество теплоты 21 кДж. Найти также изменение внутренней энергии газа.

1.41. При изотермическом расширении 0,5 кг водорода при температуре 300 К его объём увеличился в 3 раза. Определить: 1) совершенную при расширении газа работу; 2) изменение внутренней энергии; 3) количество теплоты, полученное газом.

1.42. При адиабатном сжатии давление воздуха было увели-

чено от 65 кПа до 0,8 МПа. Затем при неизменном объёме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление газа в конце процесса.

1.43. Неон массой 200 г занимает объём 110 л и находится под давлением 300 кПа. При нагревании газ расширился до объёма 400 л, а затем его давление возросло до 600 кПа при неизменном объёме. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную газом работу и теплоту, переданную газу. Построить график процесса.

1.44. Объём воздуха при изотермическом расширении при температуре 360 К увеличился в 4 раза. Определить работу, совершённую газом, и теплоту, полученную при этом. Масса воздуха 150 г.

1.45. Водород массой 170 г был изобарно нагрет от 230 К до 450 К. Определить работу, совершённую газом, полученную им теплоту и изменение внутренней энергии азота.

1.46. Во сколько раз увеличится объём воздуха, содержащий количество вещества 0,3 моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит количество теплоты 850 Дж? Температура воздуха 273 К.

1.47. Какая работа совершается при изотермическом расширении азота массой 4 г, взятого при температуре 280 К, если объём газа увеличивается в 2 раза?

1.48. Какая доля количества теплоты, подводимого к идеальному газу при изохорном процессе, расходуется на изменение внутренней энергии газа, и какая доля на работу расширения? Рассмотреть 3 случая, если газ: 1) одноатомный; 2) двухатомный; 3) трехатомный.

1.49. Определить работу, которую совершит аргон, если ему при постоянном давлении сообщить количество теплоты 25 кДж. Найти также изменение внутренней энергии газа.

1.50. Азот массой  $m = 0,4$  кг был изобарно нагрет от температуры  $T_1 = 250$  К до температуры  $T_2 = 440$  К. Определить работу  $A$ , совершенную газом, полученную им теплоту  $Q$  и изменение  $\Delta U$  внутренней энергии азота.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.1**  
**«ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК»**

2.1–2.10. На рис. 3 показано распределение точечных зарядов  $Q_i$ . Для заданных значений зарядов (табл. 5) определить силу, действующую на точечный заряд  $Q_0$ , помещенный в точку, указанную в последнем столбце, напряженность  $E$  и потенциал  $\Phi$  электростатического поля в этой точке.

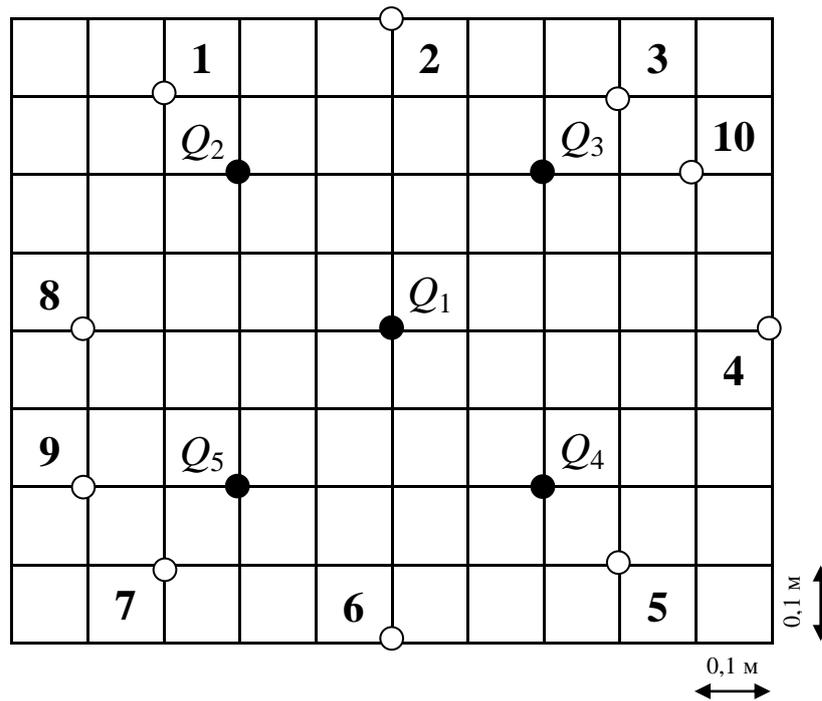


Рисунок 3

Таблица 5

№ задачи	$Q_1$ , нКл	$Q_2$ , нКл	$Q_3$ , нКл	$Q_4$ , нКл	$Q_5$ , нКл	$Q_0$ , нКл	Номер точки
2.1	-1	2	3	0	0	2	2
2.2	2	1	0	-4	0	1	1
2.3	2	3	0	0	-2	-0,5	8
2.4	0	0	0	-2	3	1	9
2.5	3	0	4	0	-1	2	7
2.6	-2	0	0	3	3	-1	6
2.7	1	2	0	-0,5	0	1	5
2.8	0	-4	2	0	0	0,5	10
2.9	3	0	-0,5	0	6	2	3

№ задачи	$Q_1$ , нКл	$Q_2$ , нКл	$Q_3$ , нКл	$Q_4$ , нКл	$Q_5$ , нКл	$Q_0$ , нКл	Номер точки
2.10	2	0	1	0	3	-2	4

2.11. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость  $v = 10^5$  м/с. Расстояние, между пластинами  $d = 8$  мм. Найти разность потенциалов  $\Delta\phi$  между пластинами и поверхностную плотность  $\sigma$  заряда на пластинах.

2.12. Электрон, имеющий в бесконечности кинетическую энергию  $W_k = 400$  эВ, движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом  $R = 10$  см. Определить минимальное расстояние, на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если заряд сферы  $Q = -10$  нКл.

2.13. Шарик с массой  $m = 1$  г и зарядом  $Q = 10$  нКл перемещается из точки 1, потенциал которой  $\phi_1 = 600$  В в точку 2, потенциал которой  $\phi_2 = 0$ . Найти его скорость  $v_1$  в точке 1, если в точке 2 она стала равной  $v_2 = 25$  см/с.

2.14. Какая работа совершается при перенесении точечного заряда  $Q = 20$  нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии  $r = 1$  см от поверхности шара радиусом  $R = 1$  см, с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 10$  мкКл/м<sup>2</sup>?

2.15. Найти потенциал  $\phi$  точки поля, находящейся на расстоянии  $r = 10$  см от центра заряженного шара радиусом  $R = 1$  см. Задачу решить, если: а) задана поверхностная плотность заряда на шаре  $\sigma = 0,1$  мкКл/м<sup>2</sup>; б) задан потенциал шара  $\phi_0 = 300$  В.

2.16. К источнику напряжения  $U = 300$  В подключены два плоских конденсатора емкостью  $C_1 = 2$  пФ и  $C_2 = 3$  пФ. Определить заряд  $Q$  и разность потенциалов  $\Delta\phi$  на пластинах каждого конденсатора при последовательном и параллельном их соединении.

2.17. Определить энергию  $W$  и силу  $F$  притяжения обкладок плоского конденсатора при условии, что разность потенциалов между обкладками  $\Delta\phi = 5$  кВ, заряд каждой обкладки  $Q = 0,1$  мкКл, а расстояние  $d$  между обкладками 1 см.

2.18. К воздушному конденсатору, заряженному до разности потенциалов  $\Delta\phi_1 = 600$  В и отключенному от источника напряжения, присоединили параллельно второй незаряженный конденса-

тор таких же размеров и формы, но с диэлектриком (фарфор). Определить диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  фарфора, если после присоединения второго конденсатора разность потенциалов уменьшилась до  $\Delta\varphi_2 = 100$  В.

2.19. Плоский конденсатор, расстояние  $d$  между обкладками которого 2 см, а площадь каждой обкладки  $S = 200$  см<sup>2</sup>, зарядили до разности потенциалов  $\Delta\varphi = 220$  В и отключили от источника напряжения. Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между обкладками до 6 см?

2.20. Плоский конденсатор с площадью пластины  $S = 200$  см<sup>2</sup> каждая заряжен до разности потенциалов  $\Delta\varphi = 2$  кВ. Расстояние между пластинами  $d = 2$  см, диэлектрик – стекло. Определить энергию  $W$  электрического поля конденсатора и объемную плотность  $w$  энергии поля.

2.21. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением  $R_B = 4$  кОм. Амперметр показывает силу тока  $I_A = 0,3$  А, вольтметр – напряжение  $U_B = 120$  В. Определить сопротивление  $R$  катушки.

2.22. Элемент с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением  $r = 1,5$  Ом замкнут на внешнее сопротивление  $R = 8,5$  Ом. Найти силу тока в цепи, падение напряжения на внешнем и внутреннем участках цепи, а также КПД элемента.

2.23. В цепь с напряжением  $U = 100$  В включили катушку с сопротивлением  $R_1 = 2$  кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра  $U_1 = 80$  В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал  $U_2 = 60$  В. Определить сопротивление  $R_2$  другой катушки.

2.24. При внешнем сопротивлении  $R_1 = 8$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 0,8$  А, при сопротивлении  $R_2 = 15$  Ом сила тока  $I_2 = 0,5$  А. Определить силу тока  $I_{к.з.}$  короткого замыкания источника ЭДС.

2.25. Внутреннее сопротивление гальванометра  $R_g = 680$  Ом. Как и какое сопротивление нужно подключить к нему, чтобы можно было измерить ток силой  $I = 2,5$  А? Шкала гальванометра рассчитана на 300 мкА.

2.26. Внутреннее сопротивление гальванометра  $R_g = 720$  Ом, шкала его рассчитана на 500 мкА. Как и какое добавочное сопро-

тивление нужно подключить, чтобы можно было измерить им напряжение, равное 300 В?

2.27. Источник постоянного тока один раз подсоединяют к катушке сопротивлением  $R_1 = 9 \text{ Ом}$ , другой раз к катушке сопротивлением  $R_2 = 16 \text{ Ом}$ . Количество теплоты, выделяющееся на катушках за одно и то же время, в обоих случаях одинаково. Определить внутреннее сопротивление источника тока.

2.28. Сила тока в проводнике сопротивлением  $R = 10 \text{ Ом}$  равномерно убывает от значения  $I_0 = 20 \text{ А}$  до  $I = 5 \text{ А}$  в течение времени  $t = 10 \text{ с}$ . Определить теплоту  $Q$ , выделившуюся в этом проводнике за указанный промежуток времени.

2.29. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение времени  $\Delta t = 20 \text{ с}$ . За это время в проводнике выделилась теплота  $Q = 4 \text{ кДж}$ . Определить скорость  $\Delta I / \Delta t$  нарастания тока в проводнике, если его сопротивление  $R = 5 \text{ Ом}$ .

2.30. Ток в проводнике сопротивлением  $R = 10 \text{ Ом}$  за время  $t = 50 \text{ с}$  равномерно нарастает от  $I_1 = 5 \text{ А}$  до  $I_2 = 10 \text{ А}$ . Определить теплоту  $Q$ , выделившуюся за это время в проводнике.

2.31. Найти потенциал  $\varphi$  точки поля, находящейся на расстоянии  $r = 10 \text{ см}$  от центра заряженного шара радиусом  $R = 1 \text{ см}$ . Задачу решить, если: а) задана поверхностная плотность заряда на шаре  $0,1 \text{ мкКл/м}^2$ ; б) задан потенциал шара  $\varphi_0 = 300 \text{ В}$ .

2.32. В центре заряженного стеклянного ( $\epsilon_1 = 7$ ) шара радиусом  $10 \text{ см}$  имеется полость радиусом  $5 \text{ см}$ . Заряд шара  $q = 10^{-7} \text{ Кл}$ . Шар помещен в масло ( $\epsilon_2 = 2,2$ ). Какова напряженность электрического поля в точках, отстоящих от центра шара на расстояниях:  $r_1 = 3 \text{ см}$ ,  $r_2 = 6 \text{ см}$ ,  $r_3 = 12 \text{ см}$ ? Построить график  $E = E(r)$ .

2.33. Очень длинная тонкая прямая проволока несет заряд, равномерно распределенный по всей ее длине. Вычислить линейную плотность заряда на проволоке, если напряженность поля на расстоянии  $a = 0,5 \text{ м}$  от нее против ее середины равна  $200 \text{ В/м}$ .

2.34. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром  $20 \text{ см}$  равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma = 4 \text{ мкКл/м}^2$ . Определить напряженность электрического поля в точках, отстоящих от оси цилиндра на расстояниях  $r_1 = 3 \text{ см}$  и  $r_2 = 15 \text{ см}$ .

2.35. Определить напряженность поля, создаваемого тонким длинным стержнем, равномерно заряженным с линейной плотностью заряда  $\tau = 20$  мкКл/м в точке, находящейся на расстоянии  $a = 2$  см от стержня, вблизи его середины.

2.36. Длинный металлический стержень равномерно заряжен с объемной плотностью заряда  $\rho$ . Получить, используя теорему Остроградского – Гаусса, формулу для расчета напряженности внутри стержня. Изобразить графически зависимость  $E = E(r)$ , где  $r < R$  ( $R$  – радиус стержня).

2.37. Используя теорему Остроградского – Гаусса, получить формулу для расчета напряженности поля, созданного равномерно заряженной тонкой бесконечно протяженной плоскостью. Поверхностная плотность заряда на плоскости  $\sigma$ .

2.38. Большая плоская пластина толщиной 1 см несет заряд, равномерно распределенный по объему с объемной плотностью  $\rho = 100$  нКл/м<sup>3</sup>. Найти напряженность  $E$  электрического поля вблизи центральной части пластины вне ее, на малом расстоянии от поверхности.

2.39. Плоский слой диэлектрика ( $\epsilon = 2$ ) толщиной 0,5 см равномерно заряжен, причем 1 см<sup>3</sup> слоя имеет заряд  $3 \cdot 10^{-10}$  Кл. Какова напряженность поля: а) в середине слоя, б) внутри слоя на расстоянии 0,1 см от поверхности, в) вне слоя?

2.40. Плоскость равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда  $\sigma$ . В середине плоскости имеется небольшое отверстие радиусом  $R$ . Найти напряженность поля в точке, лежащей на перпендикуляре к плоскости, проходящем через центр отверстия на расстоянии  $b$  от плоскости.

2.41. К источнику напряжения  $u = 300$  В подключены два плоских конденсатора емкостью  $C_1 = 2$  пФ и  $C_2 = 3$  пФ. Определить заряд  $q$  и напряжение на пластинах конденсаторов при последовательном и параллельном соединениях.

2.42. Определить энергию и силу притяжения обкладок плоского конденсатора при условии, что разность потенциалов между обкладками 5 кВ, заряд каждой обкладки 0,1 мкКл, а расстояние между обкладками 1 см.

2.43. К воздушному конденсатору, заряженному до разности потенциалов  $\Delta\phi_1 = 600$  В и отключенному от источника напряже-

ния, присоединили параллельно второй незаряженный конденсатор таких же размеров и формы, но с диэлектриком (фарфор). Определить диэлектрическую проницаемость фарфора, если после присоединения второго конденсатора разность потенциалов уменьшилась до  $\Delta\varphi_2 = 100$  В.

2.44. Конденсаторы емкостями 2, 4, 5 мкФ включены в цепь с напряжением 600 В. Определить энергию каждого конденсатора в случае: а) последовательного их включения; б) параллельного их включения.

2.45. Плоский конденсатор, расстояние между обкладками которого 2 см, а площадь каждой обкладки  $200 \text{ см}^2$ , зарядили до разности потенциалов 200 В и отключили от источника напряжения. Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между обкладками до 6 см?

2.46. Конденсатор, заряженный до напряжения 200 В, соединен с незаряженным конденсатором такой же емкости: а) параллельно, б) последовательно. Какое напряжение установится между обкладками конденсатора в обоих случаях?

2.47. Плоский конденсатор с площадью пластины  $S = 200 \text{ см}^2$  каждая заряжен до разности потенциалов  $\Delta\varphi = 2$  кВ. Расстояние между пластинами  $d = 2$  см, диэлектрик – стекло. Определить энергию  $W$  поля конденсатора и плотность  $w$  энергии поля.

2.48. Два конденсатора емкостью  $C_1 = 5$  мкФ и  $C_2 = 8$  мкФ соединены последовательно и присоединены к источнику напряжения  $u = 80$  В. Определить заряды  $q_1$  и  $q_2$  конденсаторов и разности потенциалов  $\Delta\varphi_1$  и  $\Delta\varphi_2$  между их обкладками.

2.49. Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом  $R = 10$  см каждая, находящихся на расстоянии  $d = 2$  мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения  $u = 80$  В. Определить заряд  $q$  и напряженность  $E$  поля конденсатора в двух случаях: а) диэлектрик – воздух, б) диэлектрик – стекло.

2.50. Между пластинами плоского конденсатора емкостью 5 мкФ находится плотно прилегающая стеклянная пластинка. Конденсатор заряжен до разности потенциалов  $\Delta\varphi = 100$  В. Какую работу нужно совершить, чтобы вынуть стеклянную пластинку из конденсатора? Диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon = 7$ .

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.2 «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ»

2.1. Два круговых витка расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка 2 см, токи в витках  $I_1 = I_2 = 5$  А. Найти индукцию  $\vec{B}$  магнитного поля в центре витков. Решение пояснить рисунком.

2.2. Из проволоки длиной  $\ell = 1$  м сделана квадратная рамка. По рамке течёт ток  $I = 10$  А. Найти индукцию  $\vec{B}$  магнитного поля в центре рамки. Решение пояснить рисунком.

2.3. Два круговых витка радиусом  $R = 4$  см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии  $d = 5$  см друг от друга. По виткам текут токи  $I_1 = I_2 = 4$  А. Найти напряжённость  $\vec{H}$  магнитного поля в центре одного из витков. Задачу решить для случаев, если: а) токи в витках текут в одном направлении; б) токи в витках текут в противоположных направлениях. Решение пояснить рисунком.

2.4. Два круговых витка радиусом  $R = 4$  см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии  $d = 10$  см друг от друга. По виткам текут токи  $I_1 = I_2 = 2$  А. Найти напряжённость  $\vec{H}$  магнитного поля на оси витков в точке, находящейся на равном расстоянии от них. Задачу решить для случая, если: а) токи в витках текут в одном направлении; б) токи в витках текут в противоположных направлениях. Решение пояснить рисунком.

2.5. Напряжённость магнитного поля в центре кругового витка  $H_0 = 64$  А/м. Радиус витка  $R = 11$  см. Найти напряжённость  $\vec{H}$  магнитного поля на оси витка на расстоянии  $d = 10$  см от его плоскости. Решение пояснить рисунком.

2.6. По двум длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении токи  $I_1 = 10$  А и  $I_2 = 25$  А. Расстояние между проводами  $d = 10$  см. Определить индукцию  $\vec{B}$  магнитного поля в точке, удаленной от первого проводника на расстояние  $r_1 = 15$  см и от второго на расстояние  $r_2 = 6$  см. Решение пояснить рисунком.

2.7. Ток  $I = 20$  А течет по длинному проводнику, согнутому под прямым углом. Определить напряженность магнитного поля  $\vec{H}$  в точке, лежащей на биссектрисе прямого угла и отстоящей

от вершины угла на расстоянии 10 см. Решение пояснить рисунком.

2.8. По двум бесконечно длинным прямолинейным проводникам, расположенным параллельно друг другу на расстоянии 10 см, текут токи силой 0,5 А и 10 А. Определить магнитную индукцию  $\vec{B}$  поля в точке, удаленной на расстояние 10 см, от каждого проводника. Ток в проводниках имеет одно направление. Решение пояснить рисунком.

2.9. По контуру в виде равностороннего треугольника течет ток  $I = 40$  А. Сторона треугольника  $a = 30$  см. Определить магнитную индукцию  $\vec{B}$  в точке пересечения высот. Решение пояснить рисунком.

2.10. По тонкому проводнику, изогнутому в виде правильного шестиугольника со стороной  $a = 10$  см, течет ток силой  $I = 20$  А. Определить магнитную индукцию  $\vec{B}$  в центре шестиугольника. Решение пояснить рисунком.

2.11. Внутри длинного соленоида перпендикулярно его оси расположен проводник длиной  $\ell = 5$  см с током  $I_1 = 10$  А. Какая сила действует на проводник, если соленоид имеет 25 витков на сантиметр длины и по его обмотке течет ток  $I_2 = 5$  А?

2.12. Как нужно расположить прямолинейный алюминиевый проводник в однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией  $B = 0,04$  Тл и какой ток пропустить по нему, чтобы проводник находился в равновесии. Радиус проводника  $r = 1$  мм.

2.13. Проводник в виде  $1/3$  кольца расположен в однородном магнитном поле с индукцией 0,01 Тл перпендикулярно силовым линиям поля. По проводнику течёт ток 5 А. Длина проводника  $\ell = 20$  см. Определить силу, действующую на проводник.

2.14. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии  $d = 20$  см друг от друга, текут токи  $I = 400$  А. Направления токов совпадают в двух проводах. Вычислить силу  $F / \ell$ , действующую на единицу длины каждого провода.

2.15. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две её стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи силой  $I = 200$  А. Определить силу  $F$ , действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном её длине.

2.16. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии  $d_1 = 5$  см друг от друга. По проводникам в одном направлении текут токи  $I_1 = 20$  А и  $I_2 = 30$  А. Какую работу  $A/\ell$  на единицу длины проводника надо совершить, чтобы раздвинуть их до расстояния  $d_2 = 15$  см?

2.17. Протон и электрон, двигаясь с одинаковой скоростью  $v$ , влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны  $R_p$  траектории протона больше радиуса кривизны  $R_e$  траектории электрона?

2.18. Электрон, обладающий кинетической энергией  $W_k = 0,5$  кэВ, пролетает в вакууме сквозь однородное магнитное поле напряженностью  $H = 1$  кА/м перпендикулярно полю. Определить скорость  $v$  электрона, силу  $F_{\text{Л}}$  Лоренца и радиус  $R$  траектории его движения.

2.19. Найти кинетическую энергию  $W_k$  (в электрон-вольтах) протона, движущегося по дуге окружности радиусом  $R = 6$  см в магнитном поле с индукцией  $B = 1$  Тл.

2.20. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности радиуса  $R = 4$  см со скоростью  $v = 10^6$  м/с. Индукция магнитного поля  $B = 0,3$  Тл. Найти заряд  $Q$  частицы, если известно, что ее кинетическая энергия  $W_k = 12$  кэВ.

2.21. В однородном магнитном поле напряженностью  $H = 80$  кА/м помещена квадратная рамка, плоскость которой составляет с направлением магнитного поля угол  $\varphi = 30^\circ$ . Сторона рамки  $a = 4$  см. Найти магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий рамку.

2.22. В средней части соленоида, содержащего 10 витков на каждый сантиметр длины, помещён круговой виток диаметром  $d = 1$  см. Плоскость витка расположена под углом  $\varphi = 30^\circ$  к оси соленоида. Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток  $I = 10$  А.

2.23. Плоский контур площадью  $S = 16$  см<sup>2</sup> находится в однородном магнитном поле индукцией  $B = 25$  мТл. Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол  $\varphi = 60^\circ$  с направлением линий индукции.

2.24. На длинный картонный каркас диаметром  $D = 2$  см плотно уложена однослойная обмотка из проволоки диаметром  $d = 0,5$  мм. Определить магнитный поток  $\Phi$ , создаваемый таким

соленоидом при силе тока  $I = 4$  А.

2.25. Кольцо радиусом  $R = 10$  см находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 300$  мТл. Плоскость кольца составляет угол  $\varphi = 30^\circ$  с линиями индукции магнитного поля. Вычислить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий кольцо.

2.26. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока  $I = 50$  А, свободно установился в однородном магнитном поле индукцией  $B = 0,025$  Тл. Диаметр витка  $d = 20$  см. Какую работу  $A$  нужно совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол  $\varphi = 120^\circ$ ?

2.27. Виток радиусом  $R = 10$  см, по которому течет ток силой  $I = 20$  А, свободно установился в однородном магнитном поле напряженностью  $H = 10^3$  А/м. Виток повернули относительно диаметра на угол  $\varphi = 60^\circ$ . Определить совершенную работу.

2.28. По проводнику, согнутому в виде квадрата со стороной  $a = 10$  см, течет ток  $I = 20$  А. Плоскость квадрата перпендикулярна магнитным силовым линиям поля. Определить работу  $A$ , которую необходимо совершить для того, чтобы удалить проводник за пределы поля. Магнитная индукция  $B = 0,15$  Тл. Поле считать однородным.

2.29. Виток радиусом  $R = 5$  см с током  $I = 2$  А помещен в однородное магнитное поле напряженностью  $H = 5 \cdot 10^3$  А/м так, что нормаль к витку составляет угол  $\alpha = 60^\circ$  с направлением силовых линий магнитного поля. Какую работу  $A$  совершат силы поля при повороте рамки в устойчивое положение?

2.30. Квадратная рамка со стороной  $a = 4$  см, содержащая  $N = 100$  витков, помещена в однородное магнитное поле напряженностью  $H = 100$  А/м. Направление силовых линий магнитного поля составляет угол  $\alpha = 30^\circ$  с нормалью к плоскости рамки. Определить работу, совершаемую при повороте рамки в положение, при котором ее плоскость совпадает с направлением силовых линий.

2.38. Соленоид содержит  $N = 600$  витков. Сердечник из немагнитного материала имеет сечение  $S = 8$  см<sup>2</sup>. По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией  $B = 5$  мТл. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает в соленоиде, если ток уменьшается до нуля за время  $t = 0,4$  мс.

2.39. Рамка площадью  $S = 50$  см<sup>2</sup>, содержащая  $N = 1500$  вит-

ков, равномерно вращается в магнитном поле напряженностью  $H = 10^5$  А/м, делая  $n = 960$  об/мин. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям напряженности. Определить максимальную ЭДС индукции, возникающую в рамке.

2.40. В электрической цепи, содержащей сопротивление  $R = 10$  Ом и индуктивность  $L = 5$  мГн, течет ток  $I_0 = 6$  А. Определить силу тока  $I$  в этой цепи через  $\Delta t = 0,36$  мс после отключения источника тока.

2.41. Источник тока замкнули на катушку с сопротивлением  $R = 20$  Ом и индуктивностью  $L = 0,4$  Гн. Через сколько времени  $\Delta t$  сила тока в цепи достигнет 95% предельного значения?

2.42. Сила тока в соленоиде равномерно возрастает от  $I_1 = 1$  А до  $I_2 = 10$  А за  $\Delta t = 1$  мин, при этом соленоид накапливает энергию  $W = 20$  Дж. Какая ЭДС индуцируется в соленоиде?

2.43. Однослойный соленоид без сердечника длиной  $\ell = 20$  см и диаметром  $D = 4$  см имеет плотную обмотку медным проводом диаметром  $d = 0,1$  мм. За время  $\Delta t = 0,1$  с сила тока в нем равномерно убывает  $I_0 = 5$  А до  $I_1 = 0$ . Определить ЭДС самоиндукции в соленоиде.

2.44. Обмотка соленоида имеет сопротивление  $R = 10$  Ом. Какова его индуктивность, если при прохождении тока за время  $\Delta t = 0,05$  с в нем выделяется количество теплоты, эквивалентное энергии магнитного поля соленоида?

2.45. В плоскости, перпендикулярной силовым линиям магнитного поля напряженностью  $H = 2 \cdot 10^5$  А/м, относительно оси, проходящей через его середину, вращается стержень  $\ell = 0,4$  м. В стержне индуцируется ЭДС, равная 0,2 В. Определить угловую скорость вращения стержня.

2.46. На концах крыльев самолета с размахом  $\ell = 20$  м, летящего со скоростью  $v = 900$  км/ч, возникает ЭДС индукции, равная 0,06 В. Определить вертикальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

2.47. По обмотке соленоида с параметрами: число витков  $N = 1000$ , диаметр  $D = 0,04$  м, течет ток  $I = 0,5$  А. Определить потокосцепление и объемную плотность энергии соленоида.

2.48. Однослойный соленоид без сердечника длиной 20 см и диаметром 4 см имеет плотную намотку медным проводом диа-

метром 0,1 мм. За 0,1 с сила тока в нем равномерно убывает с 5 А до 1 А. Определить ЭДС индукции в соленоиде.

2.49. Под действием однородного магнитного поля перпендикулярно линиям индукции начинает перемещаться прямолинейный проводник массой 2 г, по которому течет ток 10 А. Какой магнитный поток пересечет этот проводник к моменту времени, когда скорость его станет равна 31,6 м/с.

2.50. На соленоид длиной  $\ell = 20$  см и площадью поперечного сечения  $S = 35$  см<sup>2</sup> надет проволочный виток. Обмотка соленоида имеет  $N = 340$  витков, и по нему идет ток  $I = 2,5$  А. Какая средняя ЭДС индуцируется в надетом на соленоид витке, когда ток в соленоиде выключается в течение времени  $\Delta t = 1,5$  мс?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

## Универсальные физические постоянные

Название	Обозначение	Численное значение
Ускорение свободного падения	$g$	9,81 м/с <sup>2</sup>
Гравитационная постоянная	$G$	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м <sup>3</sup> /(кг·с <sup>2</sup> )
Газовая постоянная	$R$	8,31 Дж/моль·К
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Постоянная Больцмана	$k$	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	$e$	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_e$	$9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя нейтрона	$m_n$	$1,68 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя $\alpha$ -частицы	$m_a$	$6,64 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя протона	$m_p$	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	$\epsilon_0$	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	$\mu_0$	$12,56 \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Постоянная Планка	$h$	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Планка (с чертой)	$\hbar = h/2\pi$	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Стефана – Больцмана	$\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup> )
Постоянная закона смещения Вина	$b$	$2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Вина	$C$	$1,30 \cdot 10^{-5}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>5</sup> )
Постоянная Ридберга	$R$	$3,29 \cdot 10^{15}$ с <sup>-1</sup>
Радиус первой боровской орбиты	$a$	$5,29 \cdot 10^{-11}$ м
Энергия ионизации атома водорода	$W_i$	$2,16 \cdot 10^{-18}$ Дж
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda_c$	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Атомная единица массы	а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрон-вольт	эВ	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж

## Эффективный диаметр молекулы газов

Газ	Диаметр $d \cdot 10^{10}$ , м
Азот	3,8
Водород	2,8
Кислород	3,6

Относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ 

Вещество	Проницаемость
Вода	81
Масло (трансформаторное)	2,2
Парафин	2,0
Слюда	7,0
Стекло	7,0
Фарфор	5,0
Эбонит	3,0

Удельное сопротивление  $\rho$  итемпературный коэффициент  $\alpha$  проводников

Вещество	$\rho$ при 20 °С	$\alpha$
	нОм·м	К <sup>-1</sup>
Железо	98	$6,2 \cdot 10^{-3}$
Медь	17	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	26	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Графит	3900	$-0,8 \cdot 10^{-3}$