Федеральное агенство по образованию
Кубанский государственный технологический университет
Кафедра физики

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОБЩЕМУ КУРСУ ФИЗИКИ

Для студентов 1-го - 2-го курсов очной и заочной форм обучения
всех специальностей и МИППС

РАЗДЕЛ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

- Особенности письменного экзамена по физике
- Лекционная программа
- Основные законы и формулы
- Правила оформления решения задач
- Задачи письменного экзамена
- Рекомендуемая литература

Краснодар
2008

Составители: канд. физ.-мат. наук, доц. А.И. Гаврилов;
канд. техн.-мат. наук, доц. И.В. Двадненко;
аспир. Л.Е. Изотова;
канд. тех.-мат. наук, доц. Е.С. Киселева;
ст. преп. В.В. Кривченско;
канд. хим. наук, доц. А.В. Лаврентьев;
ассист. Т.А. Лактионова;
ст. преп. В.М. Лекарев;
д-р. техн. наук. доц. А.С. Магомадов;
ассист. Р.Г. Мальцев;
канд. тех.-мат. наук, доц А.Ф. Маштаков;
канд. техн. наук, доц. В.Г. Миненко;
ст. преп. Ф.В. Москаленко;
ст. преп. П.А. Осюшкин;
ассист. Г.П. Падалкина;
канд. пед. наук. М.Л. Романова;
канд. тех. наук. Б.В. Ромашко;
канд. пед. наук, доц. Е.В. Рыкова;
ст. преп. Е.В. Сердюк;
ст. преп. М.И. Сомова;
ассист. Е.Ю. Стригин;
канд. пед. наук, доц. Р.В. Терюха;
канд. техн. наук, доц. А.А. Федоров;
ст. преп. В.Г. Чередниченко;
д-р. пед наук, проф. Т.Л. Шапошникова

УДК53 076.5+536

Сборник задач по общему курсу физики. Раздел 1. Физические основы механики. Раздел 2. Электричество и магнетизм/ Сост.: А.И. Гаврилов и др.; Кубан. гос. технол. ун-т. Каф. физики. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2008. –108 с.

Составлено в соответствии с программой по физике для втузов. Предназначено для студентов 1-го – 2-го курсов очной и заочной форм обучения всех специальностей.

Ил. 31. Библиогр.: 27 назв.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Кубанского государственного технологического университета

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, проф. И.М. Дунаев (КубГТУ);
канд. физ.-мат., доц. Л.Н. Караванская (КубГТУ)

СОДЕРЖАНИЕ

1 Особенности письменного экзамена по физике

Письменный экзамен по физике для студентов первого курса проводится по экзаменационным билетам, составленным в соответствии с программой дисциплины «Физика» по направлениям 550 000 – «Технические науки» и 540 000 – «Профессиональное образование», утвержденной Главным управлением образовательно-профессиональных программ и технологий Государственного комитета РФ по народному образованию в 1996 г.

Экзаменационный билет состоит из пяти заданий: двух теоретических вопросов и трёх задач. Продолжительность экзамена по физике составляет 135 минут.

Правильное решение и полное оформление задачи должно содержать следующие основные элементы:

- краткое содержание задачи, записанное в стандартном виде: «Дано», «Найти», «Решение». В разделе «Дано» должны быть записаны все данные по условию задачи величины и постоянные, необходимые для решения. Если некоторые величины даются не в системе единиц СИ, то следует их перевести в эту систему;
- рисунок или чертеж со всеми необходимыми элементами и обозначениями при условии, что он нужен для решения данной задачи;
- вывод формул для искомых величин, т.е. само решение в общем виде (как правило). Исключения возможны только в том случае, если вывод формулы в общем виде очень громоздок, а промежуточные вычисления облегчают решение;
- пояснения к решению, т.е. ссылки на физические законы, расшифровки новых величин, вводимых по ходу решения задачи и не данных по условию, и текст, объясняющий логику решения;
- проверку правила размерностей в конечной формуле и в промежуточных, если производятся промежуточные вычисления;
- вычисление численного результата и запись ответа в рациональном виде.

Проверка экзаменационной работы проводится следующим образом:

- за каждый ответ выставляется определенное количество баллов;
- максимальное количество условных баллов за задание билета равно 5;
- снижение условных баллов производится преподавателем за те или иные ошибки, обнаруженные при проверке;
- при этом каждое снижение должно сопровождаться подчеркиванием красным и обязательным указанием количества снятых баллов и комментарием на полях экзаменационной работы замеченной ошибки. Не допускается снижения условных баллов без соответствующих пояснений;
- после этого преподаватель подсчитывает снятые и оставшиеся баллы и проставляет только оставшиеся баллы за каждое из шести заданий в двух местах: внизу справа от ответа и на полях рядом с текстом задания на первой странице бланка ответов;
- просуммировав оставшиеся условные баллы за все задания, преподаватель подводит красную черту и проставляет суммарный условный балл за весь ответ на полях ниже текстов заданий на первой странице бланка ответа.

В зависимости от полученного суммарного условного балла за работу в целом выставляется оценка цифрой и словом в скобках. Рядом с выставленной оценкой преподаватель расписывается и в скобках обязательно расшифровывает свою подпись. При выставлении итоговой оценки преподаватели должны руководствоваться следующими критериями.

Оценка «5» (отлично) ставится за 25 – 21,5 условных баллов. Кроме того, оценка «5» является предварительной оценкой и не выставляется преподавателем, проверяющим работу самостоятельно. Работы, оцененные на «5», в обязательном порядке передаются на дополнительную проверку заведующему кафедрой, который проставляет в случае своего согласия оценку «5»и свою подпись рядом с подписью проверяющего преподавателя на экзаменационной работе.

Оценка «4» (хорошо) ставится за 16,5 - 21 условных баллов.

Оценка «3» (удовлетворительно) ставится за 8,5-16 условных баллов.

Оценка «2» (неудовлетворительно) ставится за 0 – 8 условных баллов.

Правила и критерии выставления условных баллов при проверке ответа на теоретический вопрос

Теоретический вопрос оценивается максимально 5 баллами.

При ответе на теоретический вопрос ошибки могут быть трех категорий: грубые ошибки, негрубые ошибки и недочеты. Примерами грубых ошибок являются: незнание основных понятий, законов формул, неумение ими пользоваться, непонимание физического смысла понятий и явлений. К негрубым ошибкам относятся ошибки, не искажающие сущность вопроса. Недочетами считаются неточности и небрежности в записи формул и определений, недостаточная наглядность в иллюстрациях и т.д.

Оценка за ответ в условных баллах выставляется в следующем порядке:

«5» - если студент глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, тесно увязывает теорию с практикой;

«4» - если студент твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми навыками при выполнении практических заданий;

«3» - если студент усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий;

«2» - если студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические работы;

«0» - если ответ на теоретический вопрос по существу отсутствует.

2 ЛЕКЦИОННАЯ ПРОГРАММА

Введение

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Математика и физика. Диалектический материализм и физика. Важнейшие этапы истории физики. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Физика как культура моделирования. Компьютеры в современной физике. Роль физики в становлении инженера. Общая структура и задачи курса физики. Размерность физических величин. Основные единицы СИ

Раздел 1. Физические основы механики

Введение

Предмет механики. Кинематика и динамика. Классическая механика. Квантовая механика. Релятивистская механика

Глава 1. Элементы кинематики

§ 1.1 Физические модели: Материальная точка (частица), система материальных точек, абсолютно твёрдое тело, сплошная среда. Пространство и время. Кинематическое описание движения. Относительность движения

§ 1.2 Скорость и ускорение при криволинейном движении. Нормальное и касательное ускорения. Прямолинейное движение точки

§ 1.3 Движение точки по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение. Вектор угловой скорости

§ 1.4 О смысле производной и интеграла в приложении к физическим задачам

Глава 2. Динамика частиц, поступательного и вращательного движения твёрдого тела

§ 2.1 Основная задача динамики. Понятие состояния в классической механике. Границы применимости классического способа описания движения частиц.

§ 2.2 Первый закон Ньютона и понятие инерциальной системы отсчёта

§ 2.3 Масса и сила. Эталон массы в СИ. Уравнения движения. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Сила как производная импульса

§ 2.4 Третий закон Ньютона и закон сохранения импульса

§ 2.5 Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции. Принцип Даламбера

§ 2.6 Аддитивность массы. Центр масс (инерции). Теорема о движении центра инерции. Система центра инерции

§ 2.7 Момент силы и момент импульса. Уравнения движения и равновесия твёрдого тела (уравнение моментов)

§ 2.8 Момент инерции тела относительно оси. Теорема Штейнера. Основной закон динамики вращательного движения

Глава 3. Работа и механическая энергия. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии

§ 3.1 Закон сохранения импульса как фундаментальный закон природы. Реактивное движение. Абсолютно неупругий удар

§ 3.2 Закон сохранения момента импульса. Гироскопы

§ 3.3 Движение в центральном поле. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения. Масса инерционная и гравитационная
§ 3.4 Работа и кинетическая энергия. Мощность Связь между кинетическими энергиями в различных системах отсчёта. Теорема Кенига
§ 3.5 Энергия движения тела как целого. Энергия вращающегося тела
§ 3.6 Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия
§ 3.7 Закон изменения механической энергии. Закон сохранения энергии. Абсолютно упругий удар

Глава 4. Принцип относительности в механике и элементы релятивистской динамики

§ 4.1 Инерциальные системы отсчёта и принцип относительности Галилея. Инварианты преобразований Галилея
§ 4.2 Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца
§ 4.3 Относительность длин и промежутков времени. Абсолютные и относительные скорости и ускорения
§ 4.4 Релятивистская динамика. Уравнение движения релятивистской частицы. Инвариантность уравнения движения относительно преобразования Лоренца
§ 4.5 Работа и энергия в релятивистской динамике
§ 4.6 Закон взаимосвязи массы и энергии. Инварианты преобразования. Преобразования импульса и энергии

Глава 5. Элементы механики сплошных сред

§ 5.1 Кинематическое описание движения жидкости. Векторные поля, поток и циркуляция векторного поля
§ 5.2 Общие свойства жидкостей и газов. Идеальная и вязкая жидкости.
§ 5.3 Уравнения равновесия и движения жидкости
§ 5.4 Гидростатика несжимаемой и сжимаемой жидкости
§ 5.5 Стационарное движение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли
§ 5.6 Гидродинамика вязкой жидкости. Коэффициент вязкости
§ 5.7 Течение по трубе. Формула Пуазейля
§ 5.8 Закон подобия. Формула Стокса
§ 5.9 Упругие напряжения. Закон Гука. Растяжение и сжатие стержней

Раздел 2. Электричество и магнетизм

Глава 1. Электростатика

§ 1.1 Предмет классической электродинамики. Идея близкодействия. Поле. Электрический заряд и напряжённость электрического поля. Дискретность заряда
§ 1.2 Закон Кулона. Принцип суперпозиции. Электрический диполь
§ 1.3 Силовые линии, их густота. Поток вектора. Электростатическая теорема Остроградского- Гаусса и её применение
§ 1.4 Работа электростатического поля. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля
§ 1.5 Потенциал. Связь потенциала с напряжённостью электрического поля. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия диполя во внешнем электростатическом поле

Глава 2. Электростатическое поле в веществе

§ 2.1 Диэлектрики и их поляризация. Полярные и неполярные диэлектрики. Поляризованность (вектор поляризации). Неоднородная поляризованность. Сегнетоэлектрики

§ 2.2 Электрическое поле в диэлектрике. Вектор электрического смещения (электрической индукции). Теорема Остроградского - Гаусса для диэлектрика. Основные уравнения электростатики диэлектриков

§ 2.3 Граничные условия на границе раздела “диэлектрик - диэлектрик”

§ 2.4 Проводник в электростатическом поле. Граничные условия на границе “проводник - вакуум” и “проводник - диэлектрик”. Электростатическая защита

§ 2.5 Коэффициенты электростатической ёмкости уединенного проводника и системы проводников. Конденсаторы. Ёмкость конденсаторов различной геометрической конфигурации

§ 2.6 Энергия конденсатора. Энергия и плотность энергии электростатического поля в вакууме и в диэлектрике

Глава 3. Постоянный электрический ток

§ 3.1 Проводники и изоляторы. Условия существования тока. Сила и плотность электрического тока

§ 3.2 Законы Ома и Джоуля - Ленца в интегральной и дифференциальной формах

§ 3.3 Сторонние силы. ЭДС источника тока

§ 3.4 Закон Ома для участка цепи с источником тока и для замкнутой цепи.

§ 3.5 Работа и мощность электрического тока, коэффициент полезного действия

§ 3.6 Правила Кирхгофа

§ 3.7 Элементы классической электронной теория проводимости металлов

Глава 4. Магнитное поле в вакууме

§ 4.1 Сила Ампера. Вектор магнитной индукции. Принцип суперпозиции. Сила Лоренца

§ 4.2 Закон Био - Савара - Лапласа. Магнитное поле простейших систем. Взаимодействие токов. Определение единицы силы тока - ампера.

§ 4.3 Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях. Эффект Холла

§ 4.4 Закон полного тока. Основные уравнения магнитостатики в вакууме.

§ 4.5 Рамка с током в однородном магнитном поле. Момент сил, действующих на рамку. Магнитный момент. Потенциальная энергия витка с током во внешнем магнитном поле

§ 4.6. Силовые линии магнитного поля. Магнитный поток. Индуктивность. Коэффициент взаимной индукции. Индуктивность длинного соленоида

§ 4.7 Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Флюксметр. Явление самоиндукции

§ 4.8 Магнитная энергия тока. Плотность магнитной энергии

Глава 5. Магнитное поле в веществе

§ 5.1 Молекулярные токи. Гипотеза Ампера Намагниченность (вектор намагничивания). Неоднородная намагниченность. Длинный соленоид с магнетиком

§ 5.2 Пара-, диа- и ферромагнетики и их природа

§ 5.3 Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции в магнетике. Основные уравнения магнитостатики магнетиков

3 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Элементы кинематики

● Средняя, мгновенная и среднепутевая скорости материальной точки:

$$<\bar{\upsilon}>=\frac{\Delta\bar{r}}{\Delta t};\quad \bar{\upsilon}=\frac{d\bar{r}}{dt};\quad <\upsilon>_S=\frac{\Delta s}{\Delta t},$$

где $d\bar{r}$ – элементарные перемещения точки за промежуток времени dt; $\bar{r}$ – радиус-вектор точки; Δs – путь, пройденный точкой за промежуток времени Δt.

● Среднее и мгновенное ускорение материальной точки:

$$<\bar{a}>=\frac{\Delta\bar{\upsilon}}{\Delta t};\quad \bar{a}=\frac{d\bar{\upsilon}}{dt}.$$

● Полное ускорение при криволинейном движении:

$$\bar{a}=\bar{a}_\tau+\bar{a}_n;\quad a=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2},$$

где $a_\tau=\dfrac{d\upsilon}{dt}$ – модуль тангенциальной составляющей ускорения; $a_n=\dfrac{\upsilon^2}{r}$ – модуль нормальной составляющей ускорения (r – радиус кривизны траектории в данной точке).

● Путь и модуль скорости для равнопеременного движения :

$$s=\upsilon_0 t\pm\frac{at^2}{2};$$

$$\upsilon=\upsilon_0\pm at,$$

где υ_0 – начальная скорость.

● Угловая скорость

$$\bar{\omega}=\overline{\frac{d\varphi}{dt}}.$$

● Угловое ускорение

$$\bar{\varepsilon}=\frac{d\bar{\omega}}{dt}.$$

● Угловая скорость для равномерного вращательного движения

$$\omega=\frac{\varphi}{t}=\frac{2\pi}{T}=2\pi n,$$

где T – период вращения; n – частота вращения ($n=N/t$, где N – число оборотов, совершенных телом за время t).

● Угол поворота и угловая скорость для равномерного вращательного движения:

$$\varphi=\omega_0 t\pm\frac{\varepsilon t^2}{2};\quad \omega=\omega_0\pm\varepsilon t,$$

где ω_0 – начальная скорость.

● Связь между модулями линейных и угловых величин:

$$s = R\varphi; \quad \upsilon = R\omega; \quad a_\tau = R\varepsilon; \quad a_n = \omega^2 R,$$

где R – расстояние от оси вращения.

Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела. Основные законы и формулы

● Импульс (количество движения) материальной точки

$$\overline{p} = m\overline{\upsilon}.$$

● Второй закон Ньютона (основное уравнение динамики материальной точки):

$$\overline{F} = m\overline{a} = m\frac{d\overline{\upsilon}}{dt} = \frac{d\overline{p}}{dt}.$$

● Это же уравнение в проекциях на касательную и нормаль к траектории точки:

$$F_\tau = ma_\tau = m\frac{d\upsilon}{dt}; \quad F_n = ma_n = \frac{m\upsilon^2}{R} = m\omega^2 R.$$

● Сила трения скольжения

$$F_{тр} = fN,$$

где f – коэффициент трения скольжения; N – сила нормального давления.

● Сила трения качения

$$F_{тр} = \frac{f_k N}{r},$$

где $f_к$ – коэффициент трения качения; r – радиус катящегося тела.

● Закон сохранения импульса для замкнутой системы

$$\overline{p}_S = \sum_{i=1}^{n} m_i \overline{\upsilon}_i = const,$$

где n – число материальных точек (или тел), входящих в систему.

● Координаты центра масс системы материальных точек:

$$x_c = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}; \quad y_c = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}; \quad z_c = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i},$$

где m_i – масса i-й материальной точки; x_c, y_c, z_c – ее координаты.

● Уравнение движения тела переменной массы (уравнение Мещерского):

$$m\overline{a} = \overline{F} + \overline{F}_p,$$

где реактивная сила $\bar{F}_p = -\bar{u}\dfrac{dm}{dt}$ ($\bar{u}$ – скорость истечения газов относительно ракеты).

● Формула Циолковского для определения скорости ракеты

$$\bar{\upsilon} = -\bar{u}\ln\frac{m_0}{m},$$

где m_0 – начальная масса ракеты.

Работа и энергия

● Элементарная работа, совершаемая силой $\bar{F}$,

$$dA = F_S ds = F ds\cos\alpha ,$$

где F_S – проекция силы на направление перемещения; α – угол между направлениями силы и перемещения.

● Работа, совершаемая переменной силой, на пути s

$$A = \int_S F_S ds = \int_S F_S \cos\alpha ds .$$

● Средняя мощность за промежуток времени Δt

$$\langle N \rangle = \frac{\Delta A}{\Delta t} .$$

● Мгновенная мощность

$$N = \frac{dA}{dt} ,$$

или

$$N = (\bar{F}, \bar{\upsilon}) = F_s\upsilon = F\upsilon\cos\alpha .$$

● Кинетическая энергия движущегося тела

$$T = \frac{m\upsilon^2}{2} .$$

● Связь силы, действующей на тело в данной точки поля, и потенциальной энергии частицы

$\bar{F} = -grad\Pi$,

или

$$\bar{F} = -\left(\frac{\partial \Pi}{\partial x}\bar{i} + \frac{\partial \Pi}{\partial y}\bar{j} + \frac{\partial \Pi}{\partial z}\bar{k}\right),$$

где $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ – единичные векторы координатных осей.

● Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли на высоту h,

$$\Pi = mgh\ ,$$

где g – ускорение свободного падения.

● Сила упругости

$$F = -k\Delta l\ ,$$

где Δl – деформация; k – коэффициент упругости.

● Потенциальная энергия упругодеформированного тела

$$\Pi = \frac{k(\Delta l)^2}{2}\ .$$

● Закон сохранения механической энергии (для консервативной системы):

$$T + \Pi = E = const\ .$$

● Коэффициент восстановления

$$\varepsilon = \frac{\upsilon'_n}{\upsilon_n}\ ,$$

где υ'_n и υ_n – соответственно, нормальные составляющие относительной скорости тел после и до удара.

● Скорость двух тел массами m_1 и m_2 после абсолютного упругого центрального удара:

$$\upsilon'_1 = \frac{(m_1 - m_2)\upsilon_1 + 2m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2}\ ;$$

$$\upsilon'_2 = \frac{(m_2 - m_1)\upsilon_2 + 2m_1\upsilon_1}{m_1 + m_2}\ ,$$

где υ_1 и υ_2 – скорости тел до удара.

● Скорость движения тел после абсолютно неупругого центрального удара

$$\upsilon = \frac{m_1\upsilon_1 + m_2\upsilon_2}{m_1 + m_2}\ .$$

Механика твердого тела

● Момент инерции материальной точки

$$J = mr^2\ ,$$

где m – масса точки; r – расстояние до оси вращения.

● Момент инерции системы (тела):

$$J = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 ,$$

где r_i – расстояние от материальной точки массой m_i до оси вращения. В случае непрерывного распределения масс

$$J = \int r^2 dm .$$

● Моменты инерции тел правильной геометрической формы (тела считаются однородными; m – масса тела):

Тело	Положение оси вращения	Момент инерции
Полый тонкостенный цилиндр радиусом R	**Ось симметрии**	mR^2
Сплошной цилиндр или диск радиусом R	То же	$\frac{1}{2}mR^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его середину	$\frac{1}{12}ml^2$
То же	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его конец	$\frac{1}{3}ml^2$
Шар радиусом R	Ось проходит через центр шара	$\frac{2}{5}mR^2$

● Теорема Штейнера

$$J = J_C + ma^2 ,$$

где J_C – момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс; J – момент инерции относительно параллельной оси, отстоящей от первой на расстояние a; m – масса тела.

● Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z,

$$T_{вр} = \frac{J_z \omega^2}{2} ,$$

где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ω – его угловая скорость.

● Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения,

$$T = \frac{1}{2} m \upsilon_C^2 + \frac{1}{2} J_C \omega^2 ,$$

где m – масса тела, υ_C – скорость центра масс тела; J_C – момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс; ω – угловая скорость тела.

● Момент силы относительно неподвижной точки

$$\overline{M} = [\bar{r}, \overline{F}],$$

где $\bar{r}$ – радиус-вектор, проведенный из этой точки в точку приложения силы $\overline{F}$.

● Модуль момента силы

$$M = Fl,$$

где l – плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения).

● Работа при вращении тела

$$dA = M_z d\varphi,$$

где $d\varphi$ – угол поворота тела; M_z – момент силы относительно оси z.

● Момент импульса (момент количества движения) твердого тела относительно закрепленной оси вращения

$$L_z = \sum_{i=1}^{n} m_i \upsilon_i r_i = J_z \omega_z,$$

где r_i – расстояние от оси z до отдельной части тела, $m_i\upsilon_i$ – модуль импульса этой частицы; J_z – момент инерции тела относительно оси z; ω_z – проекция его угловой скорости на ось z.

● Уравнение (закон) динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси:

$$\overline{M} = \frac{d\overline{L}}{dt}; \qquad M_z = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \varepsilon,$$

где ε – проекция углового ускорения; J_z – момент инерции тела относительно оси z.

● Закон сохранения момента импульса (момента количества движения) для замкнутой системы:

$$\overline{L} = const.$$

● Напряжение при упругой деформации

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

где F – модуль растягивающей (сжимающей) силы; S – площадь поперечного сечения.

● Относительное продольное растяжение (сжатие):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

где Δl – изменение длины тела при растяжении (сжатии); l – длина тела до деформации.

- Относительное поперечное растяжение (сжатие):

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d},$$

где Δd – изменение диаметра стержня при растяжении (сжатии); d – диаметр стержня до деформации.

- Связь между относительным поперечным сжатием (растяжением) ε' и относительным продольным растяжением (сжатием) ε:

$\varepsilon' = \mu\varepsilon$,

где μ – коэффициент Пуассона.

- Закон Гука для упругого продольного растяжения (сжатия):

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где E - модуль Юнга.

- Потенциальная энергия упругорастянутого (сжатого) стержня

$$\Pi = \int_0^{\Delta l} F dx = \frac{1}{2}\frac{ES}{l}(\Delta l)^2 = \frac{E\varepsilon^2}{2}V,$$

где V – объем тела.

Тяготение.Элементы теории поля. Основные законы и формулы

- Третий закон Кеплера:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3},$$

где T_1 и T_2 – периоды обращения планет вокруг Солнца; R_1 и R_2 – большие полуоси их орбит.

- Закон всемирного тяготения:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где F – сила тяготения (гравитационная сила) двух материальных точек массами m_1 и m_2; r – расстояние между точками; G – гравитационная постоянная.

- Сила тяжести

$$F = mg,$$

где m – масса тела; g – ускорение свободного падения.

- Напряженность поля тяготения

$$\bar{g} = \bar{F} / m,$$

где $\bar{F}$ – сила тяготения, действующая на материальную точку массой m, помещенную в данную точку поля.

- Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек массами m_1 и m_2, находящихся на расстоянии r друг от друга,

$$П = -Gm_1m_2 / r.$$

- Потенциал поля тяготения

$$\varphi = П / m,$$

где $П$ – потенциальная энергия материальной точки массой m, помещенной в данную точку поля.

- Связь между потенциалом поля тяготения и его напряженностью

$$\bar{g} = -grad\,\varphi,$$

или

$$\bar{g} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\bar{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\bar{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\bar{k}\right),$$

где $\bar{i}$, $\bar{j}$, $\bar{k}$ – единичные векторы координатных осей.

- Первая и вторая космические скорости:

$$\upsilon_1 = \sqrt{gR_0},\ \upsilon_2 = \sqrt{2gR_0},$$

где R_0 – радиус Земли.

- Основной закон динамики для неинерциальных систем отсчета

$$m\bar{a}' = m\bar{a} + \bar{F}_{ин},$$

где $\bar{a}$ и $\bar{a}'$ – соответственно ускорение тела в инерциальной и неинерциальной системах отсчета, $\bar{F}_{ин}$ – силы инерции.

- Силы инерции

$$\overline{F_{ин}} = \overline{F_{и}} + \overline{F_{ц}} + \overline{F_{K}},$$

где $\bar{F}_{и}$ – сила инерции, проявляющаяся при поступательном движении системы отсчета с ускорением $\bar{a}_0$; $\bar{F}_{и} = -m\bar{a}_0$; $\bar{F}_{ц}$ – центробежная сила инерции (сила инерции, действующая во вращающейся системе отсчета на тела, удаленные от оси вращения на конечное расстояние R); $F_{ц} = -m\omega^2 R$; $\bar{F}_k$ – кориолисова сила инерции (сила инерции, действующая на тело, движущееся со скоростью υ' во вращающейся системе отсчета):

$$\overline{F_K} = 2m\,\overline{\upsilon'}\overline{\omega}.$$

Элементы механики жидкости. Основные законы и формулы

- Гидростатическое давление столба жидкости на глубине h

$$p = \rho g h,$$

где ρ – плотность жидкости.

- Закон Архимеда:

$$F_A = \rho g V,$$

где F_A – выталкивающая сила; V – объем вытесненной жидкости.

- Уравнение неразрывности:

$$S\upsilon = const,$$

где S – площадь поперечного сечения трубки тока; υ – модуль скорости жидкости.

- Уравнение Бернулли для стационарного течения идеальной несжимаемой жидкости:

$$\frac{\rho\upsilon^2}{2} + \rho g h + p = const,$$

где p – статическое давление жидкости для определенного сечения трубки тока; υ – скорость жидкости для этого же сечения; $\frac{\rho\upsilon^2}{2}$ – динамическое давление жидкости для этого же сечения; h – высота, на которой расположено сечение; $\rho g h$ – гидростатическое давление.

Для трубки тока, расположенной горизонтально,

$$\frac{\rho\upsilon^2}{2} + p = const.$$

- Формула Торричелли, позволяющая определить скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом широком сосуде,

$$\upsilon = \sqrt{2gh},$$

где h – глубина, на которой находится отверстие относительно уровня жидкости в сосуде.

- Сила внутреннего трения между слоями текущей жидкости

$$F = \eta\left|\frac{\Delta\upsilon}{\Delta x}\right|S,$$

где η – динамическая вязкость жидкости; $\Delta\upsilon/\Delta x$ – градиент скорости; S – площадь соприкасающихся слоев.

- Число Рейнольдса, определяющее характер движения жидкости,

$$\mathrm{Re} = \rho < \upsilon > \frac{d}{\eta},$$

где ρ – плотность жидкости; $< \upsilon >$ – средняя по сечению трубы скорость жидкости; d – характерный линейный размер, например диаметр трубы.

- Формула Стокса, позволяющая определить силу сопротивления, действующую на медленно движущийся в вязкой среде шарик,

$$F = 6\pi\eta r\upsilon,$$

где r – радиус шарика; υ – его скорость.

- Формула Пуазейля, позволяющая определить объем жидкости, протекающий за время t через капиллярную трубку длиной l,

$$V = \pi R^4 \Delta p t / (8\eta l),$$

где R – радиус трубки; Δp – разность давлений на концах трубки.

- Лобовое сопротивление

$$R_x = C_x \frac{\rho \upsilon^2}{2} S,$$

где C_x – безразмерный коэффициент сопротивления; ρ – плотность среды; υ – скорость движения тела; S - площадь наибольшего поперечного сечения тела.

- Подъемная сила

$$R_y = C_y \frac{\rho \upsilon^2}{2} S,$$

где C_y – безразмерный коэффициент подъемной силы.

Элементы специальной (частной) теории относительности

Основные законы и формулы

- Преобразования Лоренца

$$x' = \frac{x - \upsilon t}{\sqrt{1 - \upsilon^2 / c^2}}, \; y' = y, \; z' = z, \; t' = \frac{t - \upsilon x / c^2}{\sqrt{1 - \upsilon^2 / c^2}},$$

где предполагается, что система отсчета K' движется со скоростью υ в положительном направлении оси x системы отсчета K, причем оси x' и x совпадают, а оси y' и y, z' и z параллельны; c – скорость распространения света в вакууме.

- Релятивистское замедление хода часов

$$\tau' = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \upsilon^2 / c^2}},$$

где τ – промежуток времени между двумя событиями, отсчитанный движущимися вместе с телом часами; τ' – промежуток времени между теми же событиями, отсчитанный покоящимися часами.

- Релятивистское (лоренцево) сокращение длины

$$l = l_0\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}\,,$$

где l_0 – длина стержня, измеренная в системе отсчета, относительно которой стержень покоится (собственная длина); l –длина стержня, измеренная в системе отсчета, относительно которой он движется со скоростью υ.

- Релятивистский закон сложения скоростей:

$$u'_x = \frac{u_x-\upsilon}{1-\upsilon u_x/c^2}\,,\quad u'_y = \frac{u_y\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}}{1-\upsilon u_x/c^2}\,,\quad u'_z = \frac{u_z\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}}{1-\upsilon u_x/c^2}\,,$$

где предполагается, что система отсчета K' движется со скоростью υ в положительном направлении оси x системы отсчета K, причем оси x' и x совпадают, оси y’ и y, z' и z параллельны.

- Интервал s_{12} между событиями (инвариантная величина):

$$s_{12}^2 = c^2t_{12}^2 - l_{12}^2 = inv,$$

где t_{12} – промежуток времени между событиями 1 и 2; l_{12} –расстояние между точками, где произошли события.

- Масса релятивистской частицы и релятивистский импульс:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}}\,,\ \ \bar{p} = \frac{m_0\bar{\upsilon}}{\sqrt{1-\upsilon^2/c^2}}\,,$$

где m_0 – масса покоя.

- Основной закон релятивистской динамики

$$\bar{F} = \frac{d\bar{p}}{dt}\,,$$

где $\bar{p}$ – релятивистский импульс частицы.

- Полная и кинетическая энергии релятивистской частицы

$$E = mc^2 = m_0c^2 + T,\ \ T = (m-m_0)c^2\,.$$

- Связь между энергией и импульсом релятивистской частицы

$$E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2\,,\qquad pc = \sqrt{T(T+2m_0c^2)}\,.$$

- Энергия связи системы

$$E_{св} = \sum_{i=1}^{n} m_{0i}c^2 - M_0c^2\,,$$

где m_{0i} – масса покоя i-й частицы в свободном состоянии; M_0 – масса покоя системы, состоящей из n частиц.

Электростатика. Основные формулы и законы

● Закон Кулона:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r^2},$$

где F – модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов Q_1 и Q_2 в вакууме; r – расстояние между зарядами; ε_0 – электрическая постоянная, равная $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

● Напряженность и потенциал электростатического поля:

$$\overline{E} = \overline{F}/Q_0; \quad \varphi = \Pi / Q_0, \text{ или}$$
$$\varphi = A_{\infty} / \; Q_0,$$

где $\overline{F}$ – сила, действующая на положительный точечный заряд Q_0 помещенный в данную точку поля; Π – потенциальная энергия заряда Q_0; A_{∞} – работа перемещения заряда Q_0 из данной точки поля на бесконечность.

● Напряженность и потенциал электростатического поля точечного заряда Q на расстоянии r от заряда:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}; \qquad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r},$$

● Поток вектора напряжения через площадку:

$$d\Phi_{\mathrm{E}} = (\overline{E}, \overline{dS}) = E_n dS,$$

где $d\overline{S} = dS\overline{n}$ – вектор, модуль которого равен dS, а направление совпадает с нормалью $\overline{n}$ к площадке; E_n – проекция вектора $\overline{E}$ на направление нормали к площадке.

● Поток вектора напряженности через произвольную поверхность S:

$$\Phi_E = \int_S (\overline{E}, d\overline{S}) = \int_S E_n dS.$$

Принцип суперпозиций (наложения) электростатических полей:

$$\overline{E} = \sum_{i=1}^{n} \overline{E}_i; \qquad \varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i,$$

где $\overline{E}_i$, φ_i – соответственно напряженность и потенциал поля, создаваемого зарядом Q_i.

● Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля

$$\overline{E} = -grad\varphi,$$

где $\bar{i}$, $\bar{j}$, $\bar{k}$ – единичные векторы координатных осей.

● В случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией,

$$E_r = -\frac{d\varphi}{dr}.$$

● Электрический момент диполя (дипольный момент):

$$\overline{p} = |Q|\bar{l},$$

где $\bar{l}$ – плечо диполя.

● Линейная, поверхностная и объемная плотности зарядов:

$$\tau = \frac{dQ}{dl}; \quad \sigma = \frac{dQ}{dS}; \quad \rho = \frac{dQ}{dV},$$

т.е., соответственно, заряд, приходящийся на единицу длины, поверхности и объема.

● Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме:

$$\Phi_E = \oint_S \left(\overline{E}, d\overline{S}\right) = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n} Q_i = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV,$$

где ε_0 – электрическая постоянная; $\sum_{i=1}^{n} Q_i$ – алгебраическая сумма зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности S; n – число зарядов; ρ – объемная плотность зарядов.

● Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной плоскостью,

$$E = \sigma/\left(2\varepsilon_0\right).$$

● Напряженность поля, создаваемого двумя бесконечными параллельными разноименно заряженными плоскостями,

$$E = \sigma/\varepsilon_0.$$

● Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной сферической поверхность радиусом R с общим зарядом Q на расстоянии r от центра сферы,

$$E = 0, \quad \text{при } r < R \text{ (внутри сферы)};$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}, \quad \text{при } r \geq R \text{ (вне сферы).}$$

● Напряженность поля, создаваемого объемно заряженным шаром радиусом *R* с общим зарядом *Q* на расстоянии *r* от центра шара,

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\left(\frac{r}{R}\right)^3 \quad \text{при } r < R \text{ (внутри шара);}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2} \quad \text{при } r \geq R \text{ (вне шара).}$$

● Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженным бесконечным цилиндром радиусом *R* на расстоянии *r* от оси цилиндра,

$$E = 0, \quad \text{при } r < R \text{ (внутри цилиндра);}$$

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\tau}{r}, \quad \text{при } r \geq R \text{ (вне цилиндра).}$$

● Циркуляция вектора напряженности электростатического поля

$$\oint_L (\bar{E}, \bar{dl}) = \int_L E_1 dl = 0,$$

где E_1 – проекция вектора $\bar{E}$ на направление элементарного перемещения $d\bar{l}$. Интегрирование производится по любому замкнутому пути *L*.

● Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда Q_0 из точки 1 в точку 2,

$$A_{12} = Q_0 (\varphi_1 - \varphi_2), \text{ или } A_{12} = Q_0 \int_1^2 (\bar{E}, \bar{dl}) = Q_0 \int_1^2 E_1 dl_1,$$

где E_1 – проекция вектора $\bar{E}$ на направление элементарного перемещения $d\bar{l}$.

● Поляризованность

$$\bar{P} = \sum_i \bar{p}_i / V,$$

где V – объем диэлектрика; $\bar{p}_i$ – дипольный момент i – й молекулы.

● Связь между поляризованностью диэлектрика и напряженности электростатического поля

$$\bar{P} = \chi\varepsilon_0 \bar{E},$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость вещества.

● Связь диэлектрической проницаемости ε с диэлектрической восприимчивостью χ

$$\varepsilon = 1 + \chi \, .$$

● Связь между напряженностью $\bar{E}$ поля в диэлектрике и напряженностью $\bar{E}_0$ внешнего поля

$$\bar{E} = \bar{E}_0 - \bar{P}/\varepsilon_0 \text{, или}$$

$$\bar{E} = \bar{E}_0/\varepsilon \, .$$

● Связь между векторами электрического смещения и напряженностью электростатического поля

$$\bar{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \bar{E} \, .$$

● Связь между $\bar{D}$, $\bar{E}$ и $\bar{P}$

$$\bar{D} = \varepsilon_0 \bar{E} + \bar{P} \, .$$

● Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике:

$$\varPhi_D = \oint_S (\bar{D}, d\bar{S}) = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^{n} Q_i \, ,$$

где $\sum_{i=1}^{n} Q_i$ – алгебраическая сумма заключенных внутри замкнутой поверхности S свободных электрических зарядов; D_n – проекция вектора $\bar{D}$ по направлению нормали $\bar{n}$ к площадке $d\bar{S}$; $d\bar{S} = dS\bar{n}$ – вектор, модуль которого равен $d\bar{S}$, а направление совпадает с нормалью $\bar{n}$ к площадку. Интегрирование ведется по всей поверхности.

● Напряженность электростатического поля у поверхности проводника

$$E = \sigma/(\varepsilon_0 \varepsilon),$$

где σ – поверхностная плотность заряда.

● Электроемкость уеденного проводника

$$C = Q/\varphi \, ,$$

где Q – заряд, сообщенный проводнику; φ – потенциал проводника.

● Емкость плоского конденсатора

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \, S / d \, ,$$

где S – площадь каждой пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами.

● Емкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{\ln(r_2/r_1)},$$

где l – длина обкладок конденсатора; r_1, r_2 – радиусы полых коаксиальных цилиндров.

● Емкость сферического конденсатора

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon\frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1},$$

где r_1, r_2 – радиусы концентрических сфер.

● Емкость системы конденсаторов при последовательном и параллельном соединении

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i} \text{ и}$$

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i,$$

где C_i – емкость i -го конденсатора; n – число конденсаторов.

● Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}.$$

● Энергия взаимодействия системы точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} Q_i\varphi_i,$$

где φ_i – потенциал, создаваемый в точке, где находится заряд, всеми зарядами, кроме i-го.

● Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{Q\Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C},$$

где Q – заряд конденсатора; C- его емкость; $\Delta\varphi$ – разность потенциалов между обкладками.

● Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора

$$|\overline{F}| = \frac{Q}{2\varepsilon_0\varepsilon S} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2 S}{2}.$$

● Энергия электростатического поля плоского конденсатора

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V,$$

где S – площадь одной пластины; U – разность потенциалов между пластинами $V = Sd$ – объем конденсатора.

● Объемная плотность энергии

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

где D – электрическое смещение.

Постоянный электрический ток

● Сила и плотность электрического тока

$$I = \frac{dQ}{dt}; \qquad j = \frac{I}{S},$$

где S – площадь поверхности тока.

● Плотность тока в проводнике

$$\bar{j} = nq\langle \bar{\upsilon} \rangle,$$

где $\langle \bar{\upsilon} \rangle$ – скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике; n – концентрация зарядов.

● Электродвижущая сила, действующая в цепи,

$$\mathcal{E} = A/Q_0,$$

или

$$\mathcal{E} = \oint (\bar{E}_{CT}, \overline{dl}),$$

где Q_0 – положительный единичный заряд; A – работа сторонних сил; $\bar{E}_{CT}$ – напряженность поля сторонних сил.

● Сопротивление R однородного линейного проводника, проводимость G проводника и удельная электрическая проводимость γ вещества проводника:

$$R = \rho l/S; \quad G = 1/R; \quad \gamma = 1/\rho,$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление; S – площадь поперечного сечения проводника; l – его длина.

● Сопротивление проводников при последовательном и параллельном соединении:

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i \text{ и}$$

$$\frac{1}{R}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{R_i},$$

где R_i – сопротивление i-го проводника; n – число проводников.

● Зависимость удельного сопротивления ρ от температуры

$$\rho=\rho_0(1+\alpha t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления.

● Закон Ома:

для однородного участка цепи

$$I=U/R;$$

для неоднородного участка цепи

$$IR=\varphi_1-\varphi_2+\mathcal{E};$$

для замкнутой цепи

$$IR=\mathcal{E},$$

где U –напряжение на участке цепи; R – сопротивление цепи (участка цепи); $(\varphi_1-\varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи; $\mathcal{E}$ – ЭДС источника (источников) тока, действующих на участке (в цепи).

● Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j}=\gamma\overline{E},$$

где $\overline{E}$ – напряженность электростатического поля.

● Работа постоянного тока за время t

$$A=IUt=I^2Rt=\frac{U^2}{R}t.$$

● Мощность тока

$$P=UI=I^2R=U^2/R.$$

● Закон Джоуля-Ленца для постоянного тока:

$$Q=I^2Rt=IUt,$$

где Q – количество теплоты, выделяющееся в участке цепи за время t.

● Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме

$$w=jE=\gamma E^2,$$

где w – удельная мощность тока.

● Правила Кирхгофа:

$$\sum_k I_k=0; \qquad \sum_i I_iR_i=\sum\mathcal{E}_i.$$

Магнитное поле. Основные законы и формулы

● Механический момент, действующий на контур с током, помешенный в однородное поле,

$$\overline{M} = \overline{p}_m \overline{B},$$

где $\overline{B}$ – магнитная индукция; $\overline{p}_m$ – магнитный момент контура с током:

$$\overline{p}_m = IS\overline{n},$$

где S – площадь контура с током; $\overline{n}$ – единичный вектор нормали к поверхности контура.

● Связь магнитной индукции $\overline{B}$ и напряженности $\overline{H}$ магнитного поля

$$\overline{B} = \mu_0 \mu \overline{H},$$

где μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды.

● Закон Био-Савара-Лапласа:

$$d\overline{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I\, d\overline{l}, \overline{r}}{r^3},$$

где $d\overline{B}$ – магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника с током I длины $d\overline{l}$; $\overline{r}$ – радиус-вектор, проведенный от $d\overline{l}$ к точке, в которой определяется магнитная индукция.

● Модуль вектора $d\overline{B}$:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I\, dl \sin\alpha}{r^2},$$

где α – угол между векторами $d\overline{l}$ и $\overline{r}$.

● Принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей

$$\overline{B} = \sum_i \overline{B}_i,$$

где $\overline{B}$ – магнитная индукция результирующего поля; $\overline{B}_i$ – магнитные индукции составляющих полей.

● Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечным длинным прямым проводником с током,

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{2I}{R},$$

где R – расстояние от оси проводника.

● Магнитная индукция в центре кругового проводника с током

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R},$$

где R – радиус витка.

● Закон Ампера:

$$d\bar{F} = I[d\bar{l}, \bar{B}],$$

где $d\bar{F}$ – сила, действующая на элемент длины $d\bar{l}$ проводника с током I, помещенный в магнитное поле с индукцией $\bar{B}$.

● Модуль силы Ампера:

$$dF = IBdl \sin\alpha,$$

где α – угол между векторами $d\bar{l}$ и $\bar{B}$.

● Сила взаимодействия двух бесконечных прямолинейных параллельных проводников с токами I_1 и I_2

$$dF = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{R} dl,$$

где R – расстояние между проводниками; $d\bar{l}$ – отрезок проводника.

● Магнитное поле точечного заряда Q, свободно движущегося с нерелятивистской скоростью $\bar{\upsilon}$,

$$\bar{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Q[\bar{\upsilon}, \bar{r}]}{r^3},$$

где $\bar{r}$ – радиус-вектор, проведенный от заряда к точке наблюдения.

● Модуль магнитной индукции

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Q\upsilon}{r^2} \sin\alpha,$$

где α – угол между векторами $\bar{\upsilon}$ и $\bar{r}$.

● Сила Лоренца

$$\bar{F} = Q[\bar{\upsilon}, \bar{B}],$$

где $\bar{F}$ – сила, действующая на заряд Q, движущийся в магнитном поле со скоростью $\bar{\upsilon}$.

● Формула Лоренца

$$\bar{F} = Q\bar{E} + Q[\bar{\upsilon}, \bar{B}],$$

где $\bar{F}$ – результирующая сила, действующая на движущийся заряд Q, если на него действует электрическое поле напряженностью $\bar{E}$ и магнитное поле индукцией $\bar{B}$.

● Холловская поперечная разность потенциалов

$$\Delta\varphi = R\frac{IB}{d},$$

где B – магнитная индукция; I – сила тока; d – толщина пластинки; $R = 1/(ne)$ - постоянная Холла (n – концентрация электронов).

● Закон полного тока для стационарного магнитного поля в вакууме (теорема о циркуляции вектора $\bar{B}$):

$$\oint_L (\bar{B}, d\bar{l}) = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^{n} I_k,$$

где μ_0 – магнитная постоянная; $d\bar{l}$ – вектор элементарной длины контура, направленный вдоль обхода контура; $B_l = B\cos\alpha$ – проекция вектора $\bar{B}$ в направлении касательной контура L произвольной формы (с учетом выбранного направления обхода); α – угол между векторами $\bar{B}$ и $d\bar{l}$; $\sum_{k=1}^{n} I_k$ – алгебраическая сумма токов, охватываемых контуром.

● Магнитная индукция поля внутри соленоида (в вакууме), имеющего N витков,

$$B = \mu_0 NI / l,$$

где l – длина соленоида.

● Магнитная индукция поля внутри тороида (в вакууме)

$$B = \mu_0 NI / 2\pi r,$$

где r – радиус средней линии тороида.

● Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) через площадку dS

$$d\Phi_B = (\bar{B}, d\bar{S}) = B_n dS,$$

где $d\bar{S} = dS\bar{n}$ – вектор, модуль которого равен dS, а направление совпадает с нормалью $\bar{n}$ к площадке; B_n – проекция вектора $\bar{B}$ на направление нормали к площадке.

● Поток вектора магнитной индукции через произвольную поверхность S

$$\Phi_B = \int_S \bar{B} d\bar{S} = \int_s B_n dS\ .$$

● Потокосцепление (полный магнитный поток, сцепленный со всеми витками соленоида):

$$\Phi = \mu_0 \mu \frac{N^2 I}{l} S,$$

где μ – магнитная проницаемость среды.

● Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi,$$

где $d\Phi$ – магнитный поток, пересеченный движущимся проводником.

● Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi,$$

где $d\Phi$ – изменение магнитного потока сквозь контур.

Электромагнитная индукция

● Закон Фарадея

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где $\mathcal{E}_i$ – ЭДС индукции.

● ЭДС индукции, возникающая в рамке площадью S при вращении рамки с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией B,

$$\mathcal{E}_i = BS\omega \sin\omega t\ ,$$

где ωt – мгновенное значение угла между вектором $\bar{B}$ и вектором нормали к плоскости рамки.

● Магнитный поток, создаваемый током I в контуре с индуктивностью L

$$\Phi = LI.$$

● ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_s = -L\frac{dI}{dt},$$

где L – индуктивность контура.

● Индуктивность соленоида (тороида):

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l},$$

где N – число витков соленоида; l - его длина.

● Токи при размыкании и при замыкании цепи

$$I = I_0 e^{-t/\tau}; \; I = I_0(1 - e^{-t/\tau}),$$

где $\tau = L/R$ – время релаксации (L – индуктивность; R – сопротивление).

● ЭДС взаимной индукции (ЭДС, индуцируемая изменением силы тока в соседнем контуре):

$$\mathcal{E} = -L_{12}\frac{dI}{dt},$$

где L_{12} – взаимная индуктивность контуров.

● Взаимная индуктивность двух катушек (с числом витков N_1 и N_2), намотанных на общий тороидальный сердечник,

$$L_{12} = L_{21} = \mu_0\mu\frac{N_1 N_2}{l}S,$$

где μ – магнитная проницаемость сердечника; l – длина сердечника по средней линии; S – площадь сердечника.

● Коэффициент трансформации

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{I_2}{I_1},$$

где N, $\mathcal{E}$, I – соответственно, число витков, ЭДС и сила тока в обмотках трансформатора.

● Энергия магнитного поля, создаваемого током в контуре, по которому течет ток I,

$$W = LI^2/2.$$

● Объемная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида

$$\omega = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

Магнитные свойства вещества

• Связь орбитального магнитного $\overline{p}_m$ и орбитального механического $\overline{L}$ моментов электрона:

$$\overline{p}_m = -g\overline{L} = -\frac{e}{2m}\overline{L},$$

где $g = e/(2m)$ – гиромагнитное отношение орбитальных моментов.

• Намагниченность

$$\bar{J} = \sum_i \bar{p}_{mi} / V,$$

где $\bar{p}_{mi}$ – магнитный момент i-й молекулы. Суммирование по всем молекулам в объеме V (достаточно малом).

• Связь между намагниченностью и напряженностью магнитного поля

$$\bar{J} = \chi \bar{H},$$

где χ – магнитная восприимчивость вещества.

• Связь между векторами $\bar{B}, \bar{H}, \bar{J}$:

$$\bar{B} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{J}),$$

где μ_0 – магнитная постоянная.

• Связь между магнитной проницаемостью и магнитной восприимчивостью вещества:

$$\mu = 1 + \chi .$$

• Закон полного тока для магнитного поля в веществе (теорема о циркуляции вектора $\bar{B}$):

$$\oint_L (\bar{B}, d\bar{l}) = \oint_L B_l dl = \mu_0 (I + I'),$$

где $d\bar{l}$ – вектор элементарной длины контура, направленный вдоль обхода контура; B_l – проекция вектора $\bar{B}$ в направлении касательной контура L произвольной формы; I и I' – соответственно, алгебраические суммы макротоков (токов проводимости) и микротоков (молекулярных токов), охватываемых заданным контуром.

• Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля:

$$\oint_L (\bar{H}, d\bar{l}) = \oint_L H_l dl = I,$$

где I – алгебраическая сумма токов проводимости, охватываемых контуром L.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Основные законы и формулы

● Плотность тока смещения

$$\bar{j}_{см} = \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} = \varepsilon_0 \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{P}}{\partial t},$$

где $\overline{D}$ – электрическое смещение; $\varepsilon_0 \frac{\partial \overline{E}}{\partial t}$ – плотность тока поляризации.

● Полная система уравнений Максвелла:

в интегральной форме

$$\oint_L \left(\overline{E}, d\overline{l}\right) = -\int_S \frac{\partial \overline{B}}{\partial t} d\overline{S}; \qquad \oint_S \left(\overline{D}, d\overline{S}\right) = \int_V \rho dV;$$

$$\oint_L \left(\overline{H}, d\overline{l}\right) = \int_S \left(\overline{j} + \frac{\partial \overline{D}}{\partial t}\right) d\overline{S}; \qquad \oint_S \left(\overline{B}, d\overline{S}\right) = 0;$$

в дифференциальной форме

$$rot\overline{E} = -\frac{\partial \overline{B}}{\partial t}; \qquad div\overline{D} = \rho;$$

$$rot\overline{H} = \overline{j} + \frac{\partial \overline{D}}{\partial t}; \qquad div\overline{B} = 0,$$

где $\overline{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \overline{E}$; $\overline{B} = \mu_0 \mu \overline{H}$; $\overline{j} = \gamma \overline{E}$ (ε_0 и μ_0 – соответственно электрическая и магнитная постоянные; ε и μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости; γ – удельная проводимость вещества).

4 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Условия задач необходимо переписать.
2. Значения всех величин из условия (и справочные данные) записать столбиком, перевести в единицы СИ.
3. В большей части задач необходимы чертежи или графики. Их следует выполнять аккуратно, обозначения на чертежах должны соответствовать записям в «Дано».
4. Для пояснения решения задачи необходимо:
   - назвать вид движения (в задачах по механике);
   - назвать, записать и сформулировать законы, на основании которых должна быть решена задача;
   - вывести формулу для расчета, поясняя преобразования с соблюдением обозначений на чертежах и в «Дано»;
   - проверить размерность по расчетной формуле;
   - произвести вычисления;
   - записать ответ.
5. Вычисления следует проводить с точностью, соответствующей точности исходных данных условия задачи. Числа следует записывать, используя множитель 10, например не 0,000347, а $3,47 \cdot 10^{-4}$.

Задача 1. Молот массой 70 кг падает с высоты 5 м и ударяет по железному изделию, лежащему на наковальне. Масса наковальни вместе с изделием – 1330 кг. Считая удар абсолютно неупругим, определить энергию, расходуемую на деформацию изделия. Систему молот–изделие–наковальня считать замкнутой.

Дано:

m_1=70 кг,

h=5 м,

m_2=1330 кг.

Найти $E_д$.

Решение

По условию задачи система молот–изделие–наковальня считается замкнутой, а удар неупругий. На основании закона сохранения энергии можно считать, что энергия, затраченная на деформацию изделия, равна разности значений механической энергии системы до и после удара.

Так как во время удара изменяется только кинетическая энергия тел, то незначительным перемещением тел по вертикали во время удара пренебрегаем. Тогда энергия деформации изделия

$$E_д = \frac{m_1 V^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)U^2}{2}, \qquad (1)$$

где V–скорость молота в конце падения с высоты h; U–общая скорость всех тел системы после неупругого удара. Скорость молота в конце падения с высоты h без учета сопротивления воздуха и трения определяется из закона сохранения энергии:

$$m_1gh = \frac{m_1V^2}{2}, \quad \text{откуда } V = \sqrt{2gh}. \tag{2}$$

Общую скорость всех тел системы после неупругого удара найдем, применив закон сохранения импульса:

$$m_1V = (m_1 + m_2)U, \quad \text{откуда } U = \frac{m_1}{m_1 + m_2}V. \tag{3}$$

Подставив в формулу (1) выражения (2) и (3), получим

$$E_д = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}gh. \tag{4}$$

Выполним проверку размерности:

$$E_д \,\bar{\underline{=}}\, \frac{кг \cdot кг}{кг + кг} \cdot \frac{м}{с^2} \cdot м = \frac{кг \cdot м}{с^2} \cdot м = Н \cdot м = Дж.$$

Произведем вычисления по расчётной формуле (4):

$$E_д = \frac{70 \cdot 130}{70 + 1330} \cdot 9{,}8 \cdot 5 = 325{,}85 \ (Дж)$$

Ответ: $E_д$ = 325,85 Дж.

Задача 2. Воздух, заключенный между двумя пластинами с площадью 200 см^2, находящимися на расстоянии 3 см, ионизируется рентгеновским излучением. При напряжении 120 В между пластинами идет ток силой 2 мкА. Определить концентрацию ионов между пластинами. Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

Дано:
S = 200 см^2 = $2 \cdot 10^{-2}$ м;
d = 3 см = $3 \cdot 10^{-2}$ м;
U = 120 В;
I = 2 мкА = $2 \cdot 10^{-6}$ А.

Найти: n_0.

Решение

Из выражения плотности тока:

$$J = n_0 e(u_+ + u_-)E, \tag{1}$$

где $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд иона; n_0 – концентрация ионов;
$u_+ = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ м^2/(В · с) и $u_- = 1{,}9 \cdot 10^{-4}$ м^2/(В · с) – подвижности положительных и отрицательных ионов; E – напряженность электрического поля.
Найдем концентрацию ионов между пластинами:

$$n_0 = \frac{j}{e(u_+ + u_-)E}. \tag{2}$$

В случае однородного поля: $E = U/d$,
где U – напряжение на пластинах; d – расстояние между ними.
Плотность тока равна $j = I/S$, где S – площадь пластин; I – сила тока.

Учитывая эти равенства,

$$n_0 = \frac{Id}{e(u_+ + u_-)US}. \tag{3}$$

Выполним проверку размерностей:

$$[n_0] = \frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{Кл}\left(\dfrac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} + \dfrac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}\right) \cdot \text{В} \cdot \text{м}^2} = \text{м}^{-3}.$$

Произведём вычисления по расчётной формуле

$$n_0 = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}(1{,}4 \cdot 10^{-4} + 1{,}9 \cdot 10^{-4}) \cdot 120 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 4{,}6 \cdot 10^{14}\ (\text{м}^{-3})$$

Ответ: $n_0 = 4{,}6 \cdot 10^{14}$ м$^{-3}$.

5 ЗАДАЧИ ПИСЬМЕННОГО ЭКЗАМЕНА

РАЗДЕЛ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

ГЛАВА 1. Элементы кинематики

П.1.1 Кинематика поступательного движения материальной точки

1.1 Движение точки по прямой задано уравнением $x = At + Bt^3$, где $A = 6$ м/с, $B = -0{,}125$ м/с^3. Определить: 1) среднюю скорость движения точки в интервале времени от $t_1 = 2$ с до $t_2 = 6$ с; 2) момент времени, в который скорость точки равна нулю; 3) момент времени, когда координата $x = 0$.
Ответ: 3 м/с; 4 с; 6,93 с.

1.2 Движение материальной точки задано уравнением $x = At + Bt^2$, где $A = 4$ м/с, $B = -0{,}05$ м/с^2. Найти координату и ускорение тела в момент времени, в который скорость точки $V = 0$. Определить момент времени, когда координата $x = 0$. Построить графики скорости и ускорения этого движения.
Ответ: 80 м; - 0,1 м/с^2; 80 с.

1.3 Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $S = A - Bt + Ct^2 + Dt^3$ ($A = 6$ м; $B = 3$ м/с; $C = 2$ м/с^2; $D = 1$ м/с^3). Определить для тела в интервале времени от $t_1 = 1$ с до $t_2 = 4$ с: среднюю скорость и среднее ускорение.
Ответ: 28 м/с; 19 м/с^2.

1.4 Движения двух материальных точек выражаются уравнениями $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2$, где $A_1 = 20$ м, $B_1 = 2$ м/с, $C_1 = -4$ м/с^2 и $x_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2$, где $A_2 = 2$ м, $B_2 = 2$ м/с, $C_2 = 0{,}5$ м/с^2. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковы? Чему равны скорости и ускорения в этот момент?
Ответ: 0 с; 2 м/с; 2 м/с; - 8 м/с^2; 1 м/с^2.

1.5 Движение точки по прямой задано уравнением $x = At + Bt^2$, где $A = 2$ м/с, $B = -0{,}5$ м/с^2. Определить среднюю скорость движения точки в интервале времени от $t_1 = 1$ с до $t_2 = 3$ с. Определить среднее ускорение и мгновенные ускорения в указанные моменты времени. Определить момент времени, когда координата $x = 0$.
Ответ: 0,5 м/с; 1 м/с^2; 4 с.

1.6 Уравнение движения точки по прямой имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 4$ м, $B = 2$ м/с, $C = 0{,}2$ м/с^3. Найти: 1) положение точки в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 5$ с; 2) среднюю скорость за время, протекшее между этими моментами; 3) мгновенные скорости в указанные моменты времени; 4) среднее ускорение за указанный промежуток времени; 5) мгновенные ускорения в указанные моменты времени.

Ответ: 1) 9,6 м; 39 м; 2) 9,8 м/с; 3) 4,4 м/с; 17 м/с;
4) 4,2 м/с^2; 5) 2,4 м/с^2; 6 м/с^2.

П.1.2 Криволинейное движение материальной точки

1.7 Пуля пущена с начальной скоростью V_0 = 200 м/с под углом $\varphi = 60^\circ$ к плоскости горизонта. Определить наибольшую высоту H_{max} подъема, дальность полета S и радиус кривизны R траектории пули в ее наивысшей точке.
Ответ:1,53 км; 3,53 км; 1,02 км.

1.8 С башни высотой H в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью V_0. Определить: 1) уравнение траектории тела y(x); 2) скорость V тела в момент падения на Землю; 3) угол φ, который образует эта скорость с горизонтом в точке падения; 4) радиус кривизны траектории тела в момент падения на Землю.

Ответ: $y = \dfrac{gx^2}{2V_0^2}$; $\sqrt{V_0^2 + 2gH}$; $\mathrm{arctg}\dfrac{\sqrt{2gH}}{V_0}$; $\dfrac{(V_0^2 + 2gH)^{3/2}}{gV_0}$.

1.9 Тело брошено со скоростью V_0 = 20 м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени t = 1,5 с после начала движения: 1) нормальное ускорение; 2) тангенциальное ускорение; 3) полное ускорение; 4) угол φ, образуемый скоростью тела с горизонтом.
Ответ: 9,47 м/с^2; 2,58 м/с^2; arctg 0,28.

1.10 Найти нормальное и тангенциальное ускорения тяжёлого тела, брошенного горизонтально с начальной скоростью V_0.

Ответ: $\dfrac{gV_0}{\sqrt{V_0^2 + g^2t^2}}$; $\dfrac{g^2t}{\sqrt{V_0^2 + g^2t^2}}$.

1.11 Тело движется по кругу радиуса R против часовой стрелки с постоянной скоростью V. Центр окружности помещается в начале прямоугольной системы координат (x, y) и в момент t = 0 тело находится в точке с координатами (R, 0). Найти x, y, V_x, V_y, a_x, a_y как функции времени и показать, что V = ωR.
Ответ: -R ω sin ωt; R ω cos ωt; -R ω^2 cos ωt; -R ω^2 sin ωt.

1.12 Ось с двумя дисками, расположенными на расстоянии $l = 0{,}5$ м друг от друга, вращается с угловой скоростью, соответствующей частоте $\nu = 1600$ об/мин. Пуля, летящая вдоль оси, пробивает оба диска, при этом отверстие от пули во втором диске смещено относительно отверстия в первом диске на угол $\varphi = 12°$. Определить скорость пули.
Ответ: $V = 400$ м/с.

П.1.3 Относительность движения. Инерциальные системы отсчета

1.13 Самолет летит относительно воздуха со скоростью $V_1 = 800$ км/ч. С запада на восток дует ветер со скоростью $V_2 = 15$ м/с. С какой скоростью самолет будет двигаться относительно Земли и под каким углом к меридиану надо держать курс, чтобы перемещение было 1) на юг; 2) север; 3) запад; 4) восток?
Ответ: 1) $3^0 52'$; 798 км/ч; 2) $3^0 52'$; 798 км/ч; 3) 746 км/ч; 4) 854 км/ч.

1.14 Автоколонна движется по шоссе со скоростью $V_1 = 36$ км/ч. Мотоциклист отправился с сообщением от головной машины к замыкающей со скоростью $V_2 = 54$ км/ч. Передав сообщение, он задержался у обочины дороги на $\Delta t = 1$ мин, а затем вернулся к голове колонны. С момента, когда он отъехал от головной машины, до момента, когда вернулся к ней, прошло время $t = 5$ мин. Определить длину колонны L.
Ответ: 500 м.

1.15 Катер пересекает реку, двигаясь перпендикулярно берегу со скоростью $V_1 = 4$ м/с относительно воды. Ширина реки $H = 10^3$ м, а скорость течения реки $V_0 = 1$ м/с. На сколько метров снесет катер по течению, когда он переправится на противоположный берег? Какой путь пройдет катер?
Ответ: 250 м; 1031 м.

1.16 Лодка движется перпендикулярно берегу реки со скоростью 7,2 км/ч относительно воды. Течение относит ее на 150 м вниз по реке. Определить скорость течения реки и время, затраченное на переезд через реку. Ширина реки − 0,5 км.
Ответ: 0,6 м/с; 4,2 мин.

1.17 Парашютист спускается на Землю со скоростью 4 м/с при спокойном состоянии воздуха. С какой скоростью он должен двигаться при горизонтальном ветре, скорость которого 3 м/с?
Ответ: 5 м/с.

П.1.4. Движение материальной точки по окружности

1.18 Человек идет по краю вращающейся с угловой скоростью ω платформы радиусом R по направлению вращения со скоростью V относительно карусели. Определить центростремительное ускорение человека.
Ответ: $V^2/R + 2\omega V + \omega^2 R$.

1.19 Материальная точка движется по окружности радиусом R со скоростью $V = V_0 e^{-S/R}$, где S – пройденный путь; V_0 – положительная константа. Найти зависимость пути от времени.
Ответ: $S(t) = R\ln(\frac{V_0}{R}t + 1)$.

1.20 Материальная точка движется по окружности радиусом R со скоростью $V = V_0 e^{-S/R}$, где S – пройденный путь; V_0 – положительная константа. Определить: 1) угол φ между векторами скорости и ускорения в произвольный момент времени, 2) величину ускорения как функцию скорости.
Ответ: $a_\tau = -\frac{V_0^2}{R} e^{-2\frac{S}{R}}$; $a_n = \frac{V_0^2}{R} e^{-2\frac{S}{R}}$.

1.21 Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$; где A = 10 рад; B = 20 рад/с; C = - 2 рад/с². Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии r = 0,1 м от оси вращения, для момента времени t = 4 с.
Ответ: 1,65 м/с².

1.22 Нормальное ускорение точки, движущейся по окружности радиусом R = 4 м задаётся уравнением $a_n = A + Bt + Ct^2$ (где A = 1 м/с²; B = 6 м/с³; C = 9 м/с⁴). Определить: 1) тангенциальное ускорение точки; 2) путь, пройденный точкой за время $t_1 = 5$ с после начала движения; 3) полное ускорение для момента времени $t_2 = 1$ с.
Ответ: 6 м/с²; 85 м; 17,1 м/с².

1.23 Материальная точка начинает двигаться по окружности радиусом R = 12,5 см с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0{,}5$ см/с². Определить: 1) момент времени, при котором вектор ускорения **a** образует с вектором скорости угол α = 45°; 2) путь, пройденный за это время движущейся точкой.
Ответ: 5 с; 6,25 см.

1.24 Точка движется по окружности радиусом R = 15 см с постоянным тангенциальным ускорением a_τ. К концу четвёртого оборота после начала движения линейная скорость точки V_1 = 15 см/с. Определить нормальное ускорение a_{n2} точки через t_2 = 16 с после начала движения.
Ответ: 1,5 см/с².

1.25 Найти угловые скорости: 1) суточного вращения Земли; 2) часовой стрелки на часах; 3) минутной стрелки на часах; 4) искусственного спутника Земли, вращающегося по круговой орбите с периодом обращения T = 88 мин; 5) линейную скорость движения этого спутника, если известно, что его орбита расположена на расстоянии 200 км от поверхности Земли.
Ответ: $7{,}26\cdot10^{-5}$ рад/с; $14{,}5\cdot10^{-5}$ рад/с; $1{,}74\cdot10^{-3}$ рад/с; $1{,}19\cdot10^{-3}$ рад/с; 7,8 км/с.

1.26 Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = At^2$ (A = 0,5 рад/с^2). Определить к концу второй секунды после начала движения: 1) угловую скорость диска; 2) угловое ускорение диска; 3) для точки, находящейся на расстоянии 80 см от оси вращения, тангенциальное a_τ, нормальное a_n и полное ускорение a.
Ответ: 2 рад/с; 1 рад/с^2; 0,8 м/с^2; 3,2 м/с^2; 3,3 м/с^2.

1.27 Диск радиусом R = 10 см вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота от времени задается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ (B = 1 рад/с; C = 1рад/с^2; D = 1 рад/с^3). Определить для точек на ободе диска к концу второй секунды после начала движения тангенциальное a_τ, нормальное ускорение a_n и полное ускорение a.
Ответ: 1,4 м/с^2; 28,9 м/с^2; 28,9 м/с^2.

1.28 Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = At^2$ (где A = 0,1 рад/с^2). Определить полное ускорение a точки на ободе диска к концу второй секунды после начала движения, если линейная скорость этой точки в этот момент равна 0,4 м/с.
Ответ: 0,256 м/с^2.

1.29 Диск радиусом R = 10 см вращается так, что зависимость линейной скорости точек, лежащих на ободе диска, от времени задается уравнением $V = At + Bt^2$ (A = 0,3 м/с^2; B = 0,1 м/с^3). Определить угол α, который образует вектор полного ускорения с радиусом колеса через 2 с от начала движения.
Ответ: 4°.

1.30 Диск радиусом R = 10 см вращается так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = A + Bt^3$ (A = 2 рад; B = 4 рад/$с^3$). Определить для точек на ободе колеса: 1) нормальное ускорение a_n в момент времени t = 2 с; 2) тангенциальное ускорение для этого же момента; 3) угол поворота φ, при котором полное ускорение составляет с радиусом колеса угол $\alpha = 45^0$.
Ответ: 230 м/$с^2$; 4,8 м/$с^2$; 2,67 рад.

1.31 Колесо радиусом R = 10 см вращается так, что зависимость линейной скорости точек, лежащих на ободе колеса, от времени движения задается уравнением $V = At + Bt^2$ (A = 3 см/$с^2$ и B = 1 см/$с^3$). Найти тангенс угла, составляемого вектором полного ускорения с радиусом колеса в момент времени t = 0, 1, 2 и 4 с после начала движения.
Ответ: ∞; 3,13; 0,7; 0,14.

1.32 Якорь электродвигателя, имеющий частоту вращения n = 50 $с^{-1}$ после выключения тока, сделав N = 628 оборотов, остановился. Определить угловое ускорение якоря.
Ответ: 12,5 рад/$с^2$.

1.33 Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время t = 2 мин оно изменило частоту вращения от 240 до 60 $мин^{-1}$. Определить: 1) угловое ускорения колеса; 2) число полных оборотов, сделанных колесом за это время.
Ответ: 0,157 рад/$с^2$; 300 об.

1.34 Колесо, вращаясь равноускоренно, достигло угловой скорости ω = 20 рад/с через N = 10 об после начала движения. Найти угловое ускорение колеса.
Ответ: 3,2 рад/$с^2$.

1.35 Колесо, вращаясь равнозамедленно, при торможении уменьшило свою скорость за 1 мин с 300 $мин^{-1}$ до 180 $мин^{-1}$. Найти угловое ускорение колеса и число оборотов, сделанных им за это время.
Ответ: 1,26 рад/$с^2$; 360 об.

1.36 Колесо радиусом R = 10 см вращается с постоянным угловым ускорением ε = 3,14 рад/$с^2$. Найти для точек на ободе колеса к концу первой секунды после начала движения: 1) угловую скорость; 2) линейную скорость; 3) тангенциальное ускорение; 4) нормальное ускорение; 5) полное ускорение и 6) угол, составляемый направлением полного ускорения с радиусом колеса.
Ответ: 3,14 рад/с; 0,314 м/с; 0,314 м/$с^2$; 0,986 м/$с^2$; 1,03 м/$с^2$; $17^0 46'$.

1.37 Маховик, вращающийся с постоянной частотой $n_0 = 10\ c^{-1}$, при торможении начал вращаться равнозамедленно. Когда торможение прекратилось, вращение маховика снова сделалось равномерным, но уже с частотой $n = 6\ c^{-1}$. Определить угловое ускорение маховика и продолжительность t торможения, если за время равнозамедленного движения маховик сделал N = 50 оборотов.
Ответ: - 4,02 рад/с^2; 6,25 с.

ГЛАВА 2. Динамика частиц, поступательного и вращательного движения твёрдого тела

П.2.1 Поступательное движение

1.38 Частица массой m движется под действием силы F = A + Bt. Определить скорость частицы через 3 с, если в начальный момент ее скорость $V_0 = 0$; m = 1 кг; A = 2 Н; B = 2 Н/с.
Ответ: 24 м/с.

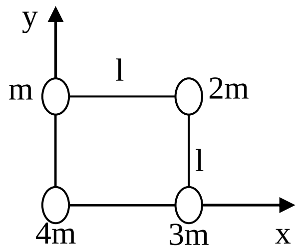
1.39 На частицу, которая в начальный момент времени (t = 0) имела импульс $p_0 = 0$, действует в течение времени τ сила, зависящая от времени: F = At (Н). Найти импульс частицы по окончании действия силы, если τ = 2 с; A = 1 Н/с.
Ответ: 2 кг·м/с.

1.40 Тело массой m движется прямолинейно, причем, его координата со временем изменяется по закону $x = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$ (м). Найти силу, действующую на тело в конце 2-й секунды, если m = 1 кг; C = 5 м/с^2; D = 4 м/с^3.
Ответ: - 38 Н.

П.2.2 Плоское движение

1.41 Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол α. Зависимость пройденного телом расстояния от времени задается уравнением $x = A + Bt + Ct^2$. Найти коэффициент трения тела о плоскость, если α = 50°; C = 1,73 м/с^2.
Ответ: 0,653.

1.42 Определить положение центра масс (X_c;Y_c) системы, состоящей из четырех шаров, массы которых соответственно m, 2m, 3m, 4m. Шары расположены по вершинам квадрата (l = 15 см).
Ответ: x_c = 7,5 см; y_c = 4,5 см.



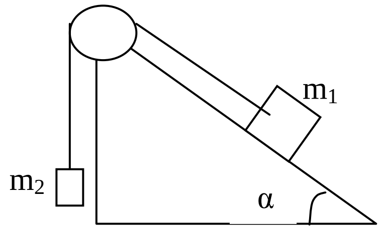
1.43 С наклонной плоскости с углом наклона α скатываются без скольжения шар и диск. Одновременно по той же плоскости соскальзывает без трения некоторое тело. Найти линейное ускорение центров тяжести всех тел. Начальные скорости равны нулю.
Ответ: $a_ш = \frac{5}{7} g\sin\alpha$; $a_д = \frac{2}{3} g\sin\alpha$; $a_T = g\sin\alpha$.

1.44 Найти линейное ускорение **a** центра масс шара, скатывающегося без скольжения с наклонной плоскости. Угол наклона плоскости α = 30º. Начальная скорость тела V_0 = 0.
Ответ: 3,6 м/с^2.

1.45 На барабан массой m_0 = 9 кг намотан шнур, к концу которого привязан груз массой m = 2 кг. Барабан считать однородным цилиндром. Найти ускорение груза. Трением пренебречь.
Ответ: 3 м/с^2.

1.46 Простейшая машина Атвуда, применяемая для изучения законов равноускоренного движения, представляет собой два груза с неравными массами m_1 и m_2 (например, $m_1 > m_2$), которые подвешены на лёгкой нити, перекинутой через неподвижный блок. Считая нить и блок невесомыми и пренебрегая трением в оси блока, определить ускорение грузов и силу натяжения нити.
Ответ: $a = \frac{g(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}$; $T = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$.

1.47 В установке угол α наклонной плоскости с горизонтом равен 30°, массы тел m_1 = 200 г и m_2 = 150 г. Считая нить и блок невесомыми и пренебрегая силами трения, определить ускорение, с которым будут двигаться тела, если тело m_2 опускается.
Ответ: 1,43 м/с^2.



1.48 Грузы одинаковой массы (m_1 = m_2 = 0,5 кг) соединены нитью и перекинуты через невесомый блок, укреплённый на конце стола. Коэффициент трения груза m_2 о стол μ = 0,15. Пренебрегая трением в блоке, определить ускорение грузов и силу натяжения нити.
Ответ: 4,25 м/с^2; 2,875 Н.

1.49 Какую силу F надо приложить к вагону, стоящему на рельсах, чтобы вагон стал двигаться равноускоренно и за время t = 30 с прошёл путь S = 11 м? Масса вагона m = 16 т. За время движения на вагон действует сила трения $F_{тр}$, равная 0,05 действующей на него силы тяжести mg.
Ответ: 8,2 кН.

1.50 Небольшая льдинка соскальзывает без начальной скорости с ледяной горки высотой h и далее движется по ледяной горизонтальной плоскости, останавливаясь на расстоянии L по горизонтали от конца горки. Определите коэффициент трения льда по льду. Угол наклона плоскости к горизонту − α.
Ответ: $h/(h \cdot ctg\alpha + L)$.

1.51 Груз массой m = 1 кг падает с высоты h = 240 м и углубляется в грунт на S = 0,2 м. Определите среднюю силу сопротивления грунта, если начальная скорость падения V_0 = 14 м/с.
Ответ: 12 кН.

П.2.3 Вращательное движение

1.52 Две частицы (материальные точки) с массами 2 и 3 кг соединены жёстким невесомым стержнем длиной 0,5 м. Найти момент инерции этой системы относительно перпендикулярной к стержню оси, проходящей через центр масс.
Ответ: 0,3 кг·м^2.

1.53 В центре стержня длиной L = 0,4 м и массой m = 3 кг закрепили тело массой m = 3 кг, которое можно считать материальной точкой. Определить момент инерции этой системы относительно перпендикулярной к стержню оси, проходящей на расстоянии L/4 от конца стержня.
Ответ: 0,1 кг·м^2.

1.54 Тонкое кольцо диаметром D = 0,4 м и массой m = 600 г висит на горизонтально натянутой струне. Определить момент инерции кольца относительно оси, совпадающей со струной.
Ответ: 0,192 кг·м^2.

1.55 Определить момент инерции шара относительно оси, проходящей на расстоянии 0,2 м от центра шара. Диаметр шара D = 0,4 м, масса его m = 5 кг.
Ответ: 0,28 кг·м^2.

1.56 Маховик и легкий шкив насажены на горизонтальную ось. К шкиву с помощью нити привязан груз, который, опускаясь равноускоренно, прошел путь 2 м за 4 с. Момент инерции маховика – 0,05 кг·м^2. Определить массу груза, если радиус шкива – 6 см, а массой его можно пренебречь.
Ответ: 0,36 кг.

1.57 Определить момент инерции сплошного однородного диска радиусом R = 40 см и массой m = 1 кг относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска.
Ответ: 0,12 кг·м^2.

1.58 Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной l = 50 см и массой m = 360 г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через конец стержня.
Ответ: $3 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2.

1.59 Вентилятор вращается с частотой n = 600 мин$^{-1}$. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и, сделав N = 50 оборотов, остановился. Работа A сил торможения равна 31,4 Дж. Определить момент сил торможения M и момент инерции J вентилятора.
Ответ: 0,1 Н·м; $1{,}59 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2.

1.60 Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J = 150 кг·м^2, вращается с частотой n = 240 мин$^{-1}$. Через t = 1 мин после начала действия сил торможения он остановился. Определить момент сил торможения M и число оборотов маховика от начала торможения до полной остановки.
Ответ: 62,8 Н·м; 120.

1.61 К ободу однородного сплошного диска радиусом R =0,5 м приложена постоянная касательная сила F = 2 Н. При вращении диска на него

действует момент сил трения $M_{тр} = 2$ Н·м. Определить массу m диска, если известно, что его угловое ускорение ε постоянно и равно 16 рад/с^2.
Ответ: 24 кг.

1.62 Частота вращения n_0 маховика, момент инерции J которого равен 120 кг·м^2, составляет 240 об/мин. После прекращения действия на него вращающего момента маховик под действием сил трения в подшипниках остановился за время t = π мин. Считая трение в подшипниках постоянным, определить момент сил трения М.
Ответ: 16 Н·м.

1.63 Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого J =1,5 кг·м^2, вращаясь при торможении равнозамедленно, за время t = 1 мин уменьшил частоту своего вращения с n_0 = 240 об/мин до n = 120 об/мин. Определить: угловое ускорение ε маховика, момент М силы торможения и работу торможения А.
Ответ: 0,21 рад/с^2; 0,315 Н·м; 355 Дж.

1.64 На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом R = 50 см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой m = 6,4 кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением а = 2м/с^2. Определить момент инерции вала и массу вала.
Ответ: 6,25 кг·м^2; 50 кг.

1.65 Маховик в виде диска массой m = 50 кг, радиусом R = 20 см был раскручен до частоты 480 мин$^{-1}$ и предоставлен сам себе. Под влиянием трения маховик остановился, сделав N = 200 об. Определить момент сил трения.
Ответ: - 1 Н·м.

1.66 Мотоциклист въезжает на мертвую петлю радиусом R. Масса мотоцикла с мотоциклистом – M, масса обоих колес – m. Найти с какой минимальной скоростью он должен въехать на петлю, чтобы не сорваться вниз.
Ответ : $V_0 = \sqrt{\dfrac{(5M+m)gR}{M+m}}$.

1.67 Шар массой m, подвешенный на нити длиной l, отклоняют на угол 90° от вертикали и отпускают. Определить силу максимального натяжения нити.
Ответ: 3mg.

1.68 Груз массой m = 1 кг, подвешенный на нити, отклоняют на угол $\alpha = 30°$ и отпускают. Найти силу натяжения нити T в момент прохождения грузом положения равновесия.
Ответ: 12,4 Н.

ГЛАВА 3. Работа и механическая энергия. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии

П.3.1 Движение тела переменной массы

1.69 Автомобиль с ракетным двигателем равноускоренно движется вверх по наклонной плоскости с углом наклона α и коэффициентом трения k. Скорость газов на выходе сопла двигателя равна U, а их масса, отбрасываемая за 1 с, равна μ. Скорость автомобиля в начале подъема равна V_0. Найти время, за которое автомобиль увеличил скорость от V_0 до V.

Ответ: $t = \dfrac{M(V - V_0)}{\mu U - Mg(\sin\alpha - k\cos\alpha)}$.

1.70 Ракета с начальной массой m запущена вертикально вверх. Скорость газов на срезе выходного отверстия двигателя равна V , секундный расход топлива μ. Найти ускорение ракеты через время t после запуска.

Ответ: $a = \dfrac{V\mu}{m - \mu t} - g$.

1.71 Сосуд с водой движется горизонтально с постоянной скоростью под действием реактивной силы, возникающей благодаря струе воды, бьющей со скоростью V из отверстия площадью S, расположенного у дна сосуда. Масса сосуда с водой равна m. Найти коэффициент трения между сосудом и плоскостью.

Ответ : $k = \dfrac{\rho S V^2}{mg}$.

1.72 Ракета с начальной массой M = 500 г выбрасывает нейтральную струю газов с постоянной относительно нее скоростью U = 400 м/с. Расход газа μ = 150 г/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха и внешним силовым полем, определить, какую скорость относительно Земли приобретает ракета через время t = 2 с после начала движения, если ее начальная скорость равна нулю?

Ответ: $V = U\ln\dfrac{M}{M - \mu t} = 366$ м/с.

П.3.2 Закон сохранения импульса

1.73 Человек массой m_1, бегущий со скоростью V_1, догоняет тележку массой m_2, движущуюся со скоростью V_2, и вскакивает на нее. С какой скоростью будет двигаться тележка, если m_1 = 60 кг;V_1 = 8 км/ч; m_2 = 80 кг; V_2 = 2,9 км/ч?
Ответ: ≈ 1,4 м/с.

1.74 Два пластилиновых шарика массами 10 и 20 г, двигающиеся по гладкому столу во взаимно перпендикулярных направлениях со скоростями 3 и 2 м/с соответственно, абсолютно неупруго соударяются. Определить скорость шариков после соударения.
Ответ : 1,67 м/с.

1.75 С железнодорожной платформы, которая движется со скоростью 9 км/ч, выстрелили из пушки в горизонтальном направлении. Масса платформы с пушкой – 20 т, масса снаряда – 23 кг, его начальная скорость – 700 м/с. Определить скорость платформы после выстрела, если направление выстрела совпадает с направлением движения платформы.
Ответ : $V_1 = V_0 - \frac{m_2}{m_1} V_2 = 1{,}7$ м/с.

1.76 Человек массой m_1 = 70 кг, бегущий со скоростью V_1 = 9 км/ч, догоняет тележку массой m_2 = 190 кг движущуюся со скоростью V_2 = 3,6 км/ч, и вскакивает на нее. С какой скоростью станет двигаться тележка с человеком, если человек до прыжка бежал навстречу тележке.
Ответ: 0,208 км/ч.

1.77 Два пластилиновых шарика, отношение масс которых $m_2 / m_1 = 4$, после соударения сместились и стали двигаться по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью U. Определить скорость легкого шара до соударения, если он двигался втройне быстрее тяжелого ($V_1 = 3V_2$), а направление движения шаров были взаимно перпендикулярны. Трением пренебречь.
Ответ: V_1 = 3U; V_2 = U.

1.78 При центральном упругом ударе движущееся тело массой m_1 ударяется в покоящееся тело массой m_2. В результате чего скорость первого тела уменьшается в 2 раза. Определить во сколько раз масса первого тела больше массы второго.
Ответ: в 3 раза.

П.3.3 Совместное применение законов сохранения энергии и импульса

1.79 Определить потерю кинетической энергии при неупругом центральном ударе двух шаров. Массы этих шаров – m_1 и m_2, их скорости до столкновения – V_1 и V_2.

Ответ: $\Delta E = \dfrac{m_1 m_2 (V_1 - V_2)^2}{2(m_1 + m_2)}$.

1.80 На двух шнурах одинаковой длины, равной 0,8 м, подвешены два свинцовых шара массой 0,5 и 1 кг. Шары соприкасаются между собой. Шар меньшей массы отвели в сторону так, что шнур отклонился на угол $\alpha = 60°$ и отпустили. На какую высоту поднимутся оба шара после столкновения? Удар считать центральным и неупругим. Определить энергию, израсходованную на деформацию шара при ударе.

Ответ: 0,044 м; 1,3 Дж.

1.81 Пуля массой $m = 15$ г, летящая горизонтально со скоростью $V = 200$ м/с, попадает в баллистический маятник длиной $L = 1$ м и массой $M = 1{,}5$ кг и застревает в нем. Определить угол отклонения маятника φ.

Ответ: $\varphi = \arccos\left[1 - \dfrac{(mv)^2}{2gL(m+M)^2}\right]$.

П.3.4 Закон сохранения момента импульса

1.82 Платформа в виде диска радиусом $R = 1{,}5$ м и массой $m_1 = 180$ кг вращается по инерции, около вертикальной оси делая $n = 10$ мин $^{-1}$. В центре платформы стоит человек массой $m_2 = 60$ кг. Какую линейную скорость относительно пола помещения будет иметь человек, если он перейдет на край платформы?

Ответ: $V = \dfrac{m_1}{m_1 + 2m_2} 2\pi n R = 0{,}94$ м/с.

1.83 Человек стоит в центре скамьи Жуковского и вместе с ней вращается по инерции. Частота обращения $n_1 = 0{,}5$ с $^{-1}$, момент инерции тела человека относительно оси вращения $J = 1{,}6$ кг·м^2. В вытянутых в стороны руках человек держит две гири массой $m = 2$ кг каждая. Расстояние между гирями $L_1 = 1{,}6$ м. Сколько оборотов в секунду будет делать скамья с человеком, если он опустит руки и расстояние L_2 между гирями станет равным 0,4 м? Моментом инерции скамьи пренебречь.

Ответ: $n_2 = 1{,}18$ с$^{-1}$; $n_2 = \dfrac{J_0 + 2m(\frac{L_1}{2})^2}{J_0 + 2m(\frac{L_2}{2})^2} n_1$.

1.84 Человек массой $m = 60$ кг, стоящий на краю горизонтальной платформы массой $M = 120$ кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой $n_1 = 10$ мин$^{-1}$, переходит к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека точечной массой, определить, с какой частотой n_2 будет тогда вращаться платформа.

Ответ: $n_2 = \dfrac{M + 2m}{M} n_1 = 20$ мин$^{-1}$.

1.85 Платформа в виде диска диаметром $D = 3$ м и массой $m_1 = 180$ кг может вращаться вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью ω_1 будет вращаться эта платформа, если по ее краю пойдет человек массой $m_2 = 70$ кг со скоростью $V = 1{,}8$ м/с относительно платформы?

Ответ: $\omega = \dfrac{4m_2V}{D(m_1 + 2m_2)}$.

1.86 Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек. На какой угол φ повернется платформа, если человек пройдет вокруг края платформы и, обойдя ее, вернется в исходную точку? Масса платформы $m_1 = 280$ кг, масса человека $m_2 = 80$ кг.

Ответ: $\varphi = \dfrac{4\pi m_2}{m_1 + 2m_2} = 2{,}28$ рад.

1.87 На краю платформы в виде диска, вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $n_1 = 8$ мин$^{-1}$, стоит человек массой $m_1 = 70$ кг. Когда человек перешел в центр платформы, она стала вращаться с частотой $n_2 = 10$ мин$^{-1}$. Определить массу m_2 платформы. Момент инерции человека рассчитывается как для материальной точки.

Ответ: $m_2 = \dfrac{2m_1n_1}{n_2 - n_1} = 560$ кг.

П.3.5 Закон всемирного тяготения

1.88 Определить период обращения Луны вокруг Земли , если ускорение свободного падения на полюсах Земли равно 9,83 м/с^2, радиус Земли – 6400 км, а расстояние между центрами Земли и Луны 3,84·10^5 км.

Ответ : $T = 2\pi \frac{R}{R_З}\sqrt{\frac{R}{g}} = 2{,}36\cdot 10^6 с = 27{,}4$ суток.

1.89 Определить ускорение свободного падения на Луне. Масса Луны – 7,3·10^{22} кг, её радиус – 1,7·10^3 км.

Ответ : $g_л = G\frac{M_л}{R^2} = 1{,}69$ м/с^2.

1.90 Найти ускорение силы тяжести на высоте h над поверхностью Земли. Радиус Земли – R.

Ответ : $g = \frac{g_0 R^2}{r^2}$.

1.91 Вычислить постоянную тяготения, зная радиус R и плотность ρ Земли, а также ускорение силы тяжести g_0 на ее поверхности.

Ответ : $G = \frac{3g_0}{4\pi\rho R}$.

1.92 Найти зависимость изменения ускорения силы тяжести g от глубины погружения в землю.

Ответ : $g = g_0\left(\frac{R-h}{R}\right)^2$.

1.93 Стационарный искусственный спутник движется по окружности в плоскости земного экватора, оставаясь все время над одним и тем же пунктом земной поверхности. Определить угловую скорость ω спутника и радиус R его орбиты.
Ответ: 42,4 Мм; 7,27·10^{-5} рад/с.

1.94 Планета Нептун в 30 раз дальше от Солнца, чем Земля. Определить период T обращения Нептуна вокруг Солнца в годах.
Ответ: 164 года.

1.95 Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы тело массой m = 10^3 кг, находящееся на Земле, смогло превратиться в спутник Солнца (при отсутствии сопротивления среды).
Ответ: A = gRm = 62,7·10^{9}Дж.

1.96 Искусственный спутник Земли движется вокруг неё по круговой орбите. Определить, во сколько раз гравитационная потенциальная энергия спутника больше его кинетической энергии.
Ответ: в 2 раза.

1.97 Два алюминиевых шарика (ρ = 2,7·10^3 кг/м^3) радиусами r_1 = 3 см и r_2 = 5 см соприкасаются друг с другом. Определить потенциальную энергию их гравитационного взаимодействия.
Ответ: 0,39 нДж.

1.98 Принимая, что радиус Земли известен, определить, на какой высоте h над поверхностью Земли напряжённость поля тяготения равна 4,9 Н/кг.
Ответ: 2,64 Мм.

1.99 Найти вторую космическую скорость V_2, т.е. скорость, которую надо сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно преодолело земное тяготение и навсегда удалилось от Земли.
Ответ: 11,2 км/с.

1.100 Найти первую космическую скорость V, которую надо сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно начало двигаться вокруг Земли по круговой орбите в качестве её спутника.
Ответ: 7,8 км/с.

1.101 На какой высоте h ускорение свободного падения вдвое меньше его значения на поверхности Земли?
Ответ: 2,56 ·10^6 м.

1.102 Принимая, что радиус Земли 6370 км, определить, на какой высоте h над поверхностью Земли напряжённость поля тяготения равна 5 Н/кг.
Ответ: 2,64· 10^6 м.

1.103 Искусственный спутник Земли движется вокруг неё по круговой орбите. Определить, во сколько раз гравитационная потенциальная энергия спутника больше его кинетической энергии?
Ответ: в 2 раза.

П.3.6 Энергия, работа и мощность

1.104 На горизонтальном участке пути длиной 3 км скорость автомобиля увеличилась с 36 до 72 км/ч. Масса автомобиля – 3 т. Коэффициент трения – 0,01. Определить работу, совершённую двигателем автомобиля, и его среднюю мощность.
Ответ: 1,3 МДж; 6,5 кВт.

1.105 Тело m = 1 кг под действием постоянной силы движется прямолинейно. Зависимость пути, пройденного телом, от времени задано уравнением $S = 2t^2 + 4t + 1$. Определить работу силы за 10 с с начала её действия и зависимость кинетической энергии от времени.
Ответ: 960 Дж; $E_к = m\,(8t^2 + 16t + 8)$.

1.106 Гиря, положенная на верхний конец спиральной пружины, сжимает её на $x_0 = 1{,}0$ мм. На сколько сожмёт пружину эта же гиря, брошенная вертикально вниз с высоты h = 0,20 м со скоростью V = 1,0 м/с?
Ответ: $8 \cdot 10^{-2}$ м.

1.107 Какую кинетическую энергию приобретает автобус массой 15 т, если он трогается с места с ускорением 1,4 м/с^2. Определить работу силы тяги и работу силы сопротивления на первых 10 м, если коэффициент сопротивления 0,02.
Ответ: 210 кДж; 239,4 кДж; 29,4 кДж.

1.108 Вертолёт массой m = 3 т висит в воздухе. Какова мощность N, расходуемая на поддержание вертолёта в этом положении при диаметре ротора d = 18 м. При расчёте считать, что ротор отбрасывает вниз цилиндрическую струю воздуха с диаметром, равным диаметру ротора.
Ответ: 139 кВт.

1.109 При вертикальном подъёме груза массой m = 2 кг на высоту h = 1 м постоянной силой F была совершена работа А = 80 Дж. С каким ускорением поднимается груз?
Ответ: 30 м/с^2.

1.110 Какое количество бензина расходует двигатель автомобиля на пути 100 км, если при средней мощности двигателя в 11040 Вт средняя скорость его движения была равна 30 км/ч? КПД двигателя – 22%, удельная теплота сгорания бензина – $4{,}6 \cdot 10^7$ Дж/кг.
Ответ: 13 кг.

1.111 С наклонной плоскости высотой h скатываются: а) обруч; б) сплошной цилиндр; в) шар. Найти поступательные скорости, которые они будут иметь, скатившись до конца плоскости. Сравнить эти скорости со скоростью, которую имело бы тело, соскальзывающее по плоскости без трения.
Ответ: 1) $\sqrt{gh}$; 2) $2\sqrt{\frac{gh}{3}}$; 3) $\sqrt{\frac{10gh}{7}}$.

1.112 Автомобиль массой $2 \cdot 10^3$ кг движется вверх по наклонной плоскости с уклоном 0,1 , развивая на пути 100 м скорость 36 км/ч. Коэффициент трения $\mu = 0{,}05$. Определить среднюю и максимальную мощность двигателя автомобиля при разгоне.
Ответ : $1{,}99 \cdot 10^4$ Вт; $3{,}94 \cdot 10^4$Вт.

1.113 Небольшое тело соскальзывает по наклонной плоскости, переходящей в мертвую петлю радиуса R, где R = 0,6 м – радиус петли. С какой высоты должно соскальзывать тело, чтобы отрыва не произошло?
Ответ: H = 2,5R.

1.114 Молот массой m_1 = 200 кг падает на поковку, масса которой вместе с наковальней m_2 = 2500 кг. Скорость V_1 молота в момент удара равна 2 м/с. Найти кинетическую энергию молота в момент удара и энергию, затраченную на сотрясение фундамента.
Ответ: 400 Дж; 29,6 Дж.

1.115 С башни горизонтально брошен камень со скоростью V_0 = 15 м/с. Масса камня m = 0,2 кг. Найти кинетическую энергию камня через время t = 1 с после начала движения.
Ответ: 32,5 Дж.

1.116 Камень брошен со скоростью V_0 = 15 м/с под углом $\alpha = 60^o$ к горизонту. Найти кинетическую энергию камня через t = 1 с после начала движения и в высшей точке траектории. Масса камня m = 0,2 кг.
Ответ: 6,6 Дж.

1.117 Какой кинетической энергией $E_к$ обладает тело массой m = 1 кг, падающее без начальной скорости по истечении времени t = 5 с после начала движения.
Ответ: 1,2 кДж.

1.118 Пуля массой m = 20 г, выпущенная под углом α к горизонту, в верхней точке траектории имеет кинетическую энергию 900 Дж. Найти угол α, если начальная скорость пули V_0 = 600 м/с.
Ответ: 60^o.

1.119 Камень массой m = 5 кг упал с некоторой высоты. Найти кинетическую энергию $E_к$ камня в средней точке его пути, если падение продолжалось t = 2 с.
Ответ: 480 Дж.

1.120 Шар и сплошной цилиндр, изготовленные из одного и того же материала, одинаковой массы катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Определить, во сколько раз кинетическая энергия шара меньше кинетической энергии сплошного цилиндра.
Ответ: в 1,07 раза.

1.121 К ободу однородного сплошного диска массой m = 10 кг, насаженного на ось, приложена постоянная касательная сила F = 30 Н. Определить кинетическую энергию через время t = 4 с после начала действия силы.
Ответ: 1,44 Дж.

1.122 Шар радиусом R = 10 см и массой m = 5 кг вращается вокруг оси симметрии согласно уравнению $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$ (B = 2 рад/с^2; C = - 0,5 рад/с^3). Определить момент сил М для t = 3 с и кинетическую энергию вращения.
Ответ: - 0,1 Н·м; 22,5 мДж.

1.123 Диск массой m = 2 кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости со скоростью 4 м/с. Найти кинетическую энергию $E_к$ диска.
Ответ: 24 Дж.

1.124 К нижнему концу пружины жёсткостью k_1 присоединена другая пружина жёсткостью k_2, к концу которой прикреплена гиря. Пренебрегая массой пружин, определить отношение потенциальных энергий пружин.
Ответ: k_2/k_1.

1.125 Пренебрегая трением, определить наименьшую высоту h, с которой должна скатываться тележка с человеком по жёлобу, переходящему в петлю радиусом R = 6 м, и не оторваться от него в верхней точке петли.
Ответ: 15 м.

1.126 Пуля массой m = 15 г, летящая с горизонтальной скоростью V = 0,5 км/с, попадает в баллистический маятник М = 6 кг и застревает в нём. Определить высоту h, на которую поднимается маятник, откачнувшись после удара.
Ответ: 8 см.

1.127 Два вагона (масса каждого m = 15 т) движутся навстречу друг другу со скоростью V = 3 м/с и сталкиваются между собой. Определить сжатие пружины буферов вагонов, если известно, что сила

пропорциональна деформации, и под действием силы F = 50 кН пружина сжимается на Δl = 1 см.
Ответ: 11,6 см.

1.128 Мальчик, стреляя из рогатки, натянул резиновый шнур так, что его длина стала больше на Δl = 10 см. С какой скоростью полетел камень массой m = 20 г? Жёсткость шнура k = 1 кН/м.
Ответ: 22 м/с.

1.129 При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх пуля массой m = 20 г поднялась на высоту h = 5 м. Определить жёсткость k пружины пистолета, если она была сжата на S = 10 см. Массой пружины пренебречь.
Ответ: 196 Н/м.

1.130 Определить жёсткость системы двух пружин при последовательном и параллельном их соединении. Жёсткость пружины k_1 = 2 кН/м и k_2 = 6 кН/м.
Ответ: 1,5 кН/м; 8 кН/м.

1.131 Пружина жесткостью k = 1 кН/м сжата на Δx_1 = 4 см. Какую нужно совершить работу A, чтобы сжатие пружины увеличить до Δx_2 = 18 см?
Ответ: 15,9 Дж.

1.132 Шарик соскальзывает без трения по наклонному желобу, образующему “мертвую петлю” радиусом R. С какой минимальной высоты должен начать движение шарик, чтобы не оторваться от желоба в верхней точке траектории?
Ответ: 2,5 R.

1.133 Для определения скорости пули применяется баллистический маятник, состоящий из деревянного бруска, подвешенного на легком стержне. При выстреле в горизонтальном направлении пуля массой m попадает в брусок и застревает в нем. Какова была скорость пули, если брусок поднимается на высоту h? Масса бруска – M.
Ответ: $V_0 = \frac{m+M}{m}\sqrt{2gh}$.

1.134 Найти работу, которую надо совершить, чтобы сжать пружину, жесткость которой 30 Н/см, на 20 см, если сила пропорциональна сжатию пружины.
Ответ: 60 Дж.

1.135 Груз массой 5 кг падает с некоторой высоты и достигает поверхности Земли за 2,5 с. Найти работу, совершенную грузом.
Ответ: 1,5 кДж.

1.136 Два шара массами $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 2$ кг подвешены на нитях длиной $l = 1$ м. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем больший шар отклонили от положения равновесия на угол $\alpha = 60°$ и отпустили. Определите скорость второго шара после упругого удара.
Ответ: 3,76 м/с.

1.137 Тело массой m, скатившись с горы высотой h, останавливается. Какую работу нужно совершить, чтобы поднять тело обратно на гору?
Ответ: 2mgh.

ГЛАВА 4. Принцип относительности в механике и элементы релятивистской динамики

П.4.1 Следствия из преобразований Лоренца

1.138 При какой относительной скорости V движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25 %?
Ответ: $1{,}98 \cdot 10^8$ м/с.

1.139 Во сколько раз увеличивается продолжительность существования нестабильной частицы по часам неподвижного наблюдателя, если она начинает двигаться со скоростью, составляющей 99 % скорости света?
Ответ: в 7,08 раза.

1.140 На сколько увеличится масса α-частицы ($m_0 = 6{,}6 \cdot 10^{-27}$ кг) при ускорении её от начальной скорости, равной нулю, до скорости, равной 0,9 с ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме)?
Ответ: $8{,}6 \cdot 10^{-27}$ кг.

1.141 Нестабильная частица при скорости V = 240 Мм/с пролетает до распада L = 8 км. Определить собственное время жизни частицы.
Ответ: 20 мкс.

1.142 Во сколько раз замедлится ход времени при скорости движения часов V = 240 Мм/с?
Ответ: в 1,7 раза.

1.143 Найти относительную скорость двух частиц, движущихся навстречу друг другу со скоростью V = 0,5 с.
Ответ: 0,8 с.

1.144 Определить периметр квадрата со стороной L, движущегося со скоростью V = 0,5 с вдоль одной из своих сторон.
Ответ: 3,73 L.

1.145 Какую скорость нужно сообщить телу, чтобы его плотность возросла на 10 %?
Ответ: 0,3 с.

1.146 Собственное время жизни частицы отличается на 1,5 % от времени жизни по неподвижным часам. Определить $\beta = V/c$.
Ответ: 0,17.

1.147 При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25 %?
Ответ: 0,66 с.

1.148 На сколько процентов возрастает плотность тела, движущегося со скоростью V = 0,5 с?
Ответ: на 33 %.

1.149 Определить относительную скорость движения, при которой релятивистское сокращение линейных размеров тела составляет 10 %.
Ответ: $1{,}31 \cdot 10^5$ км/с.

1.150 Определить собственную длину стержня, если в лабораторной системе его скорость V = 0,6 с, длина l =1,5 м и угол между ним и направлением движения равен 30^0.
Ответ: 1,79 м.

П.4.2 Элементы релятивистской динамики

1.151 Найти скорость ν-мезона, если его полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.
Ответ: $2{,}985 \cdot 10^8$ м/с.

1.152 Какому изменению массы Δm соответствует изменение энергии на ΔW = 4,19 Дж?
Ответ: $4{,}6 \cdot 10^{-17}$ кг.

1.153 Солнце излучает поток энергии мощностью $P = 3,9 \cdot 10^{26}$ Вт. За какое время масса Солнца уменьшается в 2 раза? Излучение Солнца считать постоянным.
Ответ: $7,2 \cdot 10^{12}$ лет.

1.154 Частица движется со скоростью $V = 0,8$ с. Определить отношение полной энергии релятивистской частицы к ее энергии покоя.
Ответ: 1,67.

1.155 Определить скорость движения релятивистской частицы, если ее полная энергия в два раза больше энергии покоя.
Ответ: 0,866 с.

1.156 Определить релятивистский импульс протона, если скорость его движения $V = 0,8$ с.
Ответ: $6,68 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с.

1.157 Определить скорость, при которой релятивистский импульс частицы превышает ее ньютоновский импульс в 3 раза.
Ответ: 0,943 с.

1.158 Полная энергия релятивистской частицы в 8 раз превышает ее энергию покоя. Определить скорость этой частицы.
Ответ: 298 Мм/с.

1.159 Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее энергии покоя. Определить скорость частицы.
Ответ: 260 Мм/с.

1.160 Определить релятивистский импульс p и кинетическую энегию T протона, движущегося со скоростью $V = 0,75$ с.
Ответ: $5,68 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с; $7,69 \cdot 10^{-11}$ Дж.

1.161 Определить кинетическую энергию электрона, если полная энергия движущегося электрона втрое больше его энергии покоя. Ответ выразить в электронвольтах.
Ответ: 1,02 МэВ.

1.162 Определить, какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы его скорость составила 90 % скорости света.
Ответ: 1,22 ГВ.

1.163 Определить, какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его продольные размеры уменьшились в 2 раза.
Ответ: 512 кВ.

1.164 Определить релятивистский импульс электрона, кинетическая энергия которого T = 1 ГэВ.
Ответ: $5{,}34\cdot10^{-19}$ кг·м/с.

ГЛАВА 5. Элементы механики сплошных сред

П.5.1 Основные понятия

1.165 Шар радиусом R перекрывает отверстие радиусом r в плоской стенке, разделяющей жидкости, находящиеся под давлением 3p и p. С какой силой шар прижимается к отверстию?
Ответ: $2\pi r^2$ (Н).

1.166 Цилиндрический сосуд с диаметром основания, равным высоте цилиндра, наполнен доверху водой. Найти разность ΔF сил давления воды на дно и стенку цилиндра. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3, высота цилиндра H = 0,4 м.
Ответ: 429 Н.

П.5.2 Условия плавания тел

1.167 Полый металлический шар, внешний и внутренний диаметры которого d_1 и d_2, плавает на поверхности жидкости. Плотность металла – ρ_1, плотность жидкости – ρ_2. Груз какой массы надо положить внутрь шара, чтобы он плавал, погрузившись в жидкость? Сжимаемостью шара пренебречь.
Ответ: $\frac{\pi}{6}\left[d_1^3(\rho_2-\rho_1)+d_2^3\cdot\rho_1\right]$.

1.168 Стальной цилиндр плотностью ρ, диаметром d и высотой h, опущен в воду на тонкой цепочке длиной L и массой m_1. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы вынуть цилиндр из воды за цепочку?
Ответ: $A = m_1 g(L+h)+\frac{\pi d^2 hg}{4}\left[L(\rho-\rho_0)+h\left(\rho-\frac{\rho_0}{2}\right)\right]$.

1.169 Сквозь дно цилиндрического сосуда, заполненного водой, пропустили трубку диаметром d, к которой плотно прижат диск диаметром D = 3d и толщиной h. Верхнее основание диска находится

на расстоянии H = 2h от поверхности воды. Чему должна быть равна минимальная плотность материала диска ρ, чтобы он не всплыл на поверхность?
Ответ: $\rho = 667$ кг/м^3.

1.170 Каким должен быть радиус основания R цилиндрической трубки из меди, толщина стенок которой h = 1 мм, а основания невесомы, чтобы она парила в воздухе, если внутри трубки вакуум? Плотность меди $\rho_м = 8900$ кг/м^3, плотность воздуха $\rho_в = 1{,}3$ кг/м^3.
Ответ: R = 13,7 м.

П.5.3 Ламинарное течение жидкости

1.171 На горизонтальной поверхности стоит цилиндрический сосуд с жидкостью. В боковой стенке сосуда у дна имеется отверстие диаметром d. В тот момент , когда высота столба жидкости в сосуде была h, сосуд начал двигаться с постоянной скоростью U. Найти коэффициент трения k между дном сосуда и поверхностью, если площадь дна S, а весом сосуда можно пренебречь.
Ответ: $k = \dfrac{\sqrt{2gh}\,\pi d^2}{Sgh} \cdot \left(\sqrt{2gh} - U\right)$.

1.172 В дне цилиндрического сосуда диаметром D = 0,4 м имеется круглое отверстие диаметром d = 4 мм. Найти зависимость скорости понижения уровня воды в сосуде от высоты h этого уровня.
Ответ: $V_1 = 4{,}43 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{h}$.

1.173 В широкой части горизонтальной трубы вода течет со скоростью V = 0,5 м/с. Определить скорость течения воды в узкой части трубы, если разность давлений в широкой и узкой ее частях $\Delta p = 1{,}33$ кПа.
Ответ: $V_1 = 1{,}7$ м/с.

1.174 По горизонтальной трубке переменного сечения протекает вода. Статическое давление в узкой трубке равно $p_1 = 0{,}3$ Па, а скорость воды $V_1 = 0{,}04$ м/с. Найти статическое и динамическое давления в широкой трубке, если отношение сечений трубы $S_1:S_2 = 0{,}5$.
Ответ: $p_2 = 0{,}9$ Па; $p'_2 = 0{,}2$ Па

1.175 В сосуд поступает 1 л воды в секунду. На дне сосуда имеется круглое отверстие, через которое вода вытекает. Чему равен диаметр отверстия, если уровень воды в сосуде располагается на высоте h = 1 м от дна?
Ответ: D = 17 мм.

1.176 Скорость течения воды во всех сечениях наклонной трубы одинакова. Найти разность давлений Δp в двух точках, высоты которых над уровнем Земли различаются на $\Delta h = 0{,}5$ м. При этом система испытывает трехкратные перегрузки.
Ответ: $\Delta p = 14{,}7$ кПа.

П.5.4 Внутреннее трение

1.177 Вычислить силу внутреннего трения, действующую на $S = 2$ м^2 русла, если по нему перемещается поток воды высотой $h = 2$ м. Скорость верхнего слоя воды $V = 0{,}3$ м/с, скорость нижних слоев равномерно уменьшается и равна нулю у дна, коэффициент внутреннего трения воды $\eta = 1 \cdot 10^{-2}$ Па·с.
Ответ: $F = 3$ мН.

1.178 В цилиндрическом стакане высотой $h = 0{,}2$ м, внутренним диаметром $d = 0{,}05$ м вращается вода, $\eta = 10^{-2}$ Па·с. Момент силы, действующий со стороны жидкости на стакан $M = 10^{-5}$ Н·м. Каков градиент скорости у поверхности стакана? Считать, что вода заполняет весь стакан и сохраняет форму цилиндра.
Ответ: $\frac{dV}{dr} = 1{,}27\,c^{-1}$.

1.179 Две бесконечно протяженные пластинки движутся в противоположные стороны в жидкости на расстоянии $d = 1$ см друг от друга с одинаковыми скоростями $V = 1$ м/с относительно лабораторной системы отсчета. Пластины взаимодействуют друг с другом с силой 2 Н на один квадратный метр. Каков коэффициент внутреннего трения жидкости?
Ответ: $\eta = 10^{-2}$ Па·с.

1.180 Два тонкостенных коаксиальных цилиндра длиной $L = 20$ см могут свободно вращаться вокруг общей оси. Радиус большого цилиндра равен 5 см. Между цилиндрами имеется зазор размером $d = 0{,}2$ см. Оба цилиндра находятся в газе. Внутренний цилиндр приводят во вращение с постоянной частотой $n_1 = 15$ с$^{-1}$. Внешний цилиндр заторможен. Через $\Delta t = 200$ с после того как внешний цилиндр расторможен, он приобретет частоту вращения $n_2 = 1$ с$^{-1}$. Считая изменение относительной скорости пренебрежительно малым, найти коэффициент внутреннего трения. Масса внешнего цилиндра $m = 200$ г.
Ответ: $\eta = 2 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

1.181 В цилиндрическом стакане высотой h = 10 см, внутренним диаметром d = 5 см вращается жидкость. Момент силы, действующий со стороны жидкости на стакан $M = 10^{-5}$ Н·м. Градиент скорости у поверхности стакана $dV/dr = 2$ $с^{-1}$. Каков коэффициент внутреннего трения? Считать, что жидкость занимает весь стакан и сохраняет форму цилиндра.
Ответ: $\eta = 12$ мПа·с.

1.182 Две пластины площадью $S = 2$ $м^2$ каждая, находятся на расстоянии d = 1 см в жидкости. Одна пластина присоединена к пружине с коэффициентом упругости k = 2 кН/м, другая начинает двигаться относительно первой со скоростью V = 10 м/с. Определить удлинение пружины, если коэффициент внутреннего трения $\eta = 1{,}2\cdot10^{-2}$ Па·с.
Ответ: $\Delta x = 12$ мм.

1.183 В боковую поверхность цилиндрического сосуда радиусом R вставлен горизонтально капилляр с внутренним радиусом r и длиной L. В сосуд налита жидкость, динамическая вязкость которой η. Найти зависимость скорости понижения уровня жидкости от высоты этого уровня.

Ответ: $V(h) = \frac{\rho g h}{8 l \eta}\cdot\frac{r^4}{R^2}$.

1.184 В боковую поверхность сосуда вставлен горизонтально капилляр, внутренний радиус которого $r = 10^{-3}$ м, длина $L = 1{,}5\cdot10^{-2}$ м. В сосуд налит глицерин, динамическая вязкость которого $\eta = 1$ Па·с. Уровень глицерина в сосуде держится постоянным на высоте h = 0,18 м выше капилляра. Какое время потребуется на то, чтобы из капилляра вытекло V = 5 $см^3$ глицерина?
Ответ: t = 90 с.

1.185 В боковую поверхность цилиндрического сосуда на $h_1 = 0{,}1$ м от его дна вставлен капилляр, внутренним диаметром d = 2 мм и длиной l = 1 см. В сосуде поддерживается постоянный уровень $h_2 = 0{,}7$ м выше капилляра машинного масла (плотность $\rho = 900$ кг/$м^3$, динамическая вязкость $\eta = 1$ Па·с). Определить расстояние по горизонтали от конца капилляра до места куда попадет струя масла.
Ответ: S = 0,11 м.

1.186 По трубе длиной L и радиусом R течет вязкая жидкость. Скорость течения жидкости по оси трубы – V_0. Определить объем жидкости, протекающей по трубе в единицу времени.

Ответ: $Q = \frac{\pi R^2}{2}V_0$.

1.187 По трубе длиной L и радиусом R течет вязкая жидкость с вязкостью η. Скорость течения на оси трубы составляет V_0. Определить силу трения, которую испытывает труба со стороны жидкости.
Ответ: $F = 4\pi L V_0$.

1.188 По трубе длиной L и радиусом R течет вязкая жидкость с вязкостью η. Скорость течения на оси трубы составляет V_0. Определить разность давлений на концах трубы.
Ответ: $\Delta\rho = \dfrac{4V_0 L\eta}{R^2}$.

1.189 Определить, какое максимальное количество жидкости может пройти через трубу диаметром d = 1 см в секунду, если ее вязкость η = 0,01 Па·с. Течение жидкости должно быть ламинарным (R_e = 2300).
Ответ: m = 0,018 кг.

1.190 Определить, в течение какого времени t в комнате высотой h = 3 м полностью выпадет пыль. Частицы пыли считать шарообразными с радиусом $r = 0{,}5\cdot10^{-6}$ м и плотностью ρ = 2500 кг/м^3. Плотность воздуха $\rho_в$ = 1,29 кг/м^3, его вязкость $\eta = 18\cdot10^{-6}$ Па·с. Воздух неподвижен. Броуновское движение не учитывать.
Ответ: $t \approx 11$ ч.

1.191 Найти в любой момент времени скорость шарика, падающего в жидкости, плотность которой ρ_1 и коэффициент вязкости η. Плотность шарика – ρ, его радиус – r.
Ответ: $V = \dfrac{2}{9}\cdot\dfrac{(\rho-\rho_1)r^2 g}{\eta}\cdot\left[1-e^{-\frac{2}{9}\cdot\frac{\eta t}{\rho r^2}}\right]$.

1.192 Определить время подъема движущихся с постоянной скоростью пузырьков воздуха со дна водоёма глубиной h = 1 м, если диаметр пузырьков d = 1 мм.
Ответ: τ = 2,02 с.

1.193 Какова максимальная скорость течения воды по трубе с внутренним диаметром d = 2 см, при котором течение ещё остаётся ламинарным $\eta = 1{,}1\cdot10^{-3}$ Па·с (R_e = 2900).
Ответ: V = 0,16 м/с.

1.194 Свинцовая пуля в виде шарика диаметром $D = 5\cdot10^{-3}$ м движется в воздухе плотностью ρ = 1,2 кг/м^3 со скоростью 300 м/с. Определить

число Рейнольдса и ускорение пули, пренебрегая полем силы тяжести и массой вытесненного воздуха. Для шара $C_X = 0{,}25$.
Ответ: $a = 720$ м/с^2.

П.5.5 Деформации твердых тел

1.195 Определить относительное удлинение стержня длиной L, площадью поперечного сечения S, модуль Юнга для материала стержня E, если при его растяжении затрачена работа A.

Ответ: $\varepsilon = \sqrt{\dfrac{2A}{ESL}}$.

1.196 Какая работа совершается при закручивании стержня длиной L, радиуса r, моментом сил M на угол α? Модуль сдвига G.

Ответ: $A = \dfrac{\pi r^2 G}{4L} \cdot \alpha^2$.

1.197 Железная проволока длиной L = 10 м висит вертикально. На сколько изменится объём проволоки, если к ней привязать гирю массой m = 50 кг. Коэффициент Пуассона для железа равен æ = 0,3.
Ответ: $\Delta V = 1{,}5$ мм^3.

1.198 Однородный стержень длиной L равномерно вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через один из его концов. При скорости вращения n оборотов в секунду стержень разорвётся. Найти предел прочности $\sigma_{пр}$ материала, если его плотность ρ.
Ответ: $\sigma_{пр} = 0{,}7 \cdot 10^8$ Н/м.

1.199 К медной проволоке длиной L = 1 м и радиуса $r = 10^{-3}$ м подвесили груз массой m = 34,4 кг. Чему равна работа растяжения проволоки?
Ответ: A = 0,0305 Дж.

1.200 Найти удлинение провода длиной L, плотностью ρ под собственным весом, если модуль Юнга материала равен E.

Ответ: $\Delta = \dfrac{\rho g L^2}{2E}$

РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ГЛАВА 1. Электростатика

П.1.1 Закон Кулона

2.1 Два шарика массой $m = 1$ г каждый подвешены на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити $l = 10$ см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол $\alpha = 60°$?
Ответ: 79 нКл.

2.2 Расстояние между зарядами $Q_1 = 100$ нКл и $Q_2 = -50$ нКл равно $d = 10$ см. Определить силу F, действующую на заряд $Q_3 = 1$ мкКл, отстоящий на $r_1 = 12$ см от заряда Q_1 и на $r_2 = 10$ см от заряда Q_2.
Ответ: 1 мН.

2.3 Два одинаковых проводящих заряженных шара находятся на расстоянии г = 60 см. Сила отталкивания F_1 шаров равна 70 мкН. После того, как шары привели в соприкосновение и удалили друг от друга на прежнее расстояние, сила отталкивания возросла и стала равной $F_2 = 160$ мкН. Вычислить заряды Q_1 и Q_2, которые были на шарах до их соприкосновения. Диаметр шаров считать много меньшим расстояния между ними.
Ответ: 0,14 мкКл; 20 нКл.

2.4 В вершинах квадрата расположены равные положительные заряды $+2 \cdot 10^{-7}$ Кл. В центре квадрата помещен отрицательный заряд. Определить числовое значение этого заряда, если он уравновешивает силы взаимного отталкивания зарядов, расположенных в вершинах квадрата.
Ответ: $1{,}92 \cdot 10^{-7}$ Кл.

П.1.2 Напряженность электростатического поля

2.5 Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau = 1{,}5$ нКл/ см. На протяжении оси стержня на расстоянии $d = 12$ см от его конца находится точечный заряд $Q = 0{,}2$ мкКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.
Ответ: 2,25 мН.

2.6 Длинная прямая тонкая проволока несет равномерно распределенный заряд. Вычислить линейную плотность заряда τ, если напряженность поля на расстоянии $r = 0,5$ м от проволоки против ее середины $E = 2$ В/ см.
Ответ: 5,55 нКл/м.

2.7 С какой силой, приходящейся на единицу площади, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости с одинаковой поверхностной плотностью заряда $\sigma = 2$ мкКл/м^2?
Ответ: 0,23 Н/м^2.

2.8 Два одинаковых положительных заряда 0,1 мкКл находятся в воздухе на расстоянии 8 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке А, расположенной на расстоянии 5 см от зарядов.
Ответ: 432 кВ/м.

2.9 Протон, начальная скорость которого V равна 100 км/с, влетел в однородное электрическое поле напряженностью $E = 300$ В/ см так, что вектор скорости совпал с направлением линий напряженности. Какой путь должен пройти протон в направлении линий поля, чтобы его скорость удвоилась?
Ответ: 5,19 мм.

2.10 Электрон с начальной скоростью $V_0 = 3$ Мм/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью $E = 150$ В/м. Вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности электрического поля. Найти силу, действующую на электрон, ускорение, приобретаемое электроном, и скорость электрона через $t = 0,1$ мкс.
Ответ: $24 \cdot 10^{-18}$ Н; $26,4 \cdot 10^{12}$ м/с^2; 4 Мм/с.

2.11 Кольцо радиусом $r = 5$ см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью $\tau = 14$ нКл/м. Определить напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние $a = 10$ см от центра кольца.
Ответ: 2,83 кВ/м.

2.12 Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами радиусами $R_1 = 5$ см и $R_2 = 8$ см. Заряды сфер соответственно равны $Q_1 = 2$ нКл и $Q_2 = -1$ нКл. Определить напряженность электростатического поля в точках, лежащих от центра сфер на расстояниях: $r_1 = 3$ см; $r_2 = 6$ см; $r_3 = 10$ см. Построить график зависимости $E(r)$.
Ответ: 0; 5 кВ/м; 0,9 кВ/м.

П.1.3 Потенциал. Энергия и работа электростатического поля

2.13 Заряд равномерно распределен по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью σ = 10 нКл/м^2. Определить разность потенциалов двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая удалена от нее на расстояние a = 10 см.
Ответ: 56,6 В.

2.14 Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы получить скорость V = 8 Мм/с?
Ответ: 182 В.

2.15 Определить ускоряющую разность потенциалов U, которую должен пройти в электрическом поле электрон, обладающий скоростью $V_1 = 10^6$ м/с, чтобы скорость его возросла в 2 раза.
Ответ: 8,5 В.

2.16 Точечный заряд q = 10^{-8} Кл находится на расстоянии r_1 = 0,5 м от бесконечно протяженной плоскости, равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 4\cdot10^{-5}$ Кл/м^2. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния r_2 = 0,2 м?
Ответ: 6,8 мДж.

2.17 Точечные заряды Q_1 = 1 мкКл и Q_2 = 0,1 мкКл находятся на расстоянии r_1 = 10 см друг от друга. Какую работу совершат силы поля, если второй заряд, отталкиваясь от первого, удалится от него на расстояние: 1) 10 м; 2) бесконечность?
Ответ: 8,91 мДж; 9 мДж.

2.18 Под действием электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости точечный заряд Q = 1 нКл переместился вдоль силовой линии на расстояние r = 1 см; при этом совершена работа 5 мкДж. Определить поверхностную плотность заряда на плоскости.
Ответ: 8,85 мкКл/м^2.

2.19 Электростатическое поле создается положительно заряженной с постоянной поверхностной плотностью σ = 10 нКл/м^2 бесконечной плоскостью. Какую работу надо совершить для того, чтобы перенести электрон вдоль линии напряженности с расстояния r_1 = 2 см до r_2 = 1 см?
Ответ: $9\cdot10^{-19}$ Дж.

2.20 Кольцо радиусом r = 5 см из тонкой проволоки несет равномерно распределенный заряд Q = 10 нКл. Определить потенциал φ электроста-

тического поля: в центре кольца и на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние a = 10 см от центра кольца.
Ответ: 1,8 кВ; 805 В.

2.21 Электростатическое поле создается бесконечной плоскостью, заряженной равномерно с поверхностной плотностью $\sigma = 5$ нКл/м^2 . Определить числовое значение и направление градиента потенциала этого поля.
Ответ: 282 В/м, gradφ направлен к плоскости.

П.1.4 Поток $Ф_E$ вектора напряженности электростатического поля

2.22 На некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью $\sigma = 0{,}1$ нКл/см^2 расположена круглая пластинка. Плоскость пластинки составляет с линиями напряженности угол 30^0. Определить поток $Ф_E$ вектора напряженности через эту пластинку, если ее радиус r равен 15 см.
Ответ: 3,46 кВ·м.

2.23 Определить поток $Ф_E$ вектора напряженности электростатического поля через сферическую поверхность, охватывающую точечные заряды $Q_1 = 5$ нКл и $Q_2 = -2$ нКл.
Ответ:339 В·м.

ГЛАВА 2. Электростатическое поле в веществе

П.2.1 Поляризованность. Электрическое смещение. Граничные условия

2.24 Рассчитать поле внутри плоской пластины диэлектрика, помещённой в однородное электростатическое поле, напряжённостью E_0.
Ответ: $E = \frac{E_0}{\varepsilon}$; $D = D_0 = \sigma$.

2.25 В некоторой точке изотропного диэлектрика с проницаемостью ε смещение имеет значение D. Чему равна поляризованность P в этой точке?
Ответ: $P = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} D$.

2.26 Между обкладками плоского конденсатора, заряженного до разности потенциалов 1,5 кВ, зажата парафиновая пластинка (ε = 2) толщиной 5 мм. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на парафине.
Ответ: $\sigma' = 2{,}65$ мкКл/м^2.

2.27 Расстояние между пластинами плоского конденсатора d = 5 мм, разность потенциалов U = 1,2 кВ. Определить поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора и поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике, если известно, что его диэлектрическая восприимчивость æ = 1.
Ответ: $\sigma = 4{,}24$ мкКл/м^2; $\sigma' = 2{,}12$ мКл/м^2.

2.28 Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено парафином (ε = 2). Расстояние между пластинами d = 8,85 мм. Какую разность потенциалов необходимо подать на пластины, чтобы поверхностная плотность связанных зарядов на парафине составляла 0,1 нКл/ см^2?
Ответ: $U = 1$ кВ.

2.29 Определить поверхностную плотность связанных зарядов на слюдяной пластинке (ε = 7) толщиной 1 мм, служащей изолятором плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами конденсатора U = 300 В.
Ответ: $\sigma' = 15{,}9$ мкКл/м^2.

2.30 Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено маслом (ε = 5). Расстояние между пластинами − 1 см. Какую разность потенциалов надо подать на пластины этого конденсатора, чтобы поверхностная плотность связанных (поляризационных) зарядов была равна $6{,}2 \cdot 10^{-10}$ Кл/ см^2?
Ответ: U = 1750 В.

2.31 Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом (ε = 6). Расстояние между пластинами − 4 мм. На пластины подано напряжение 1,2 кВ. Найти: 1) поле в стекле; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 3) поверхностную плотность связанного заряда на стекле; 4) диэлектрическую восприимчивость стекла.
Ответ: E = 0,3 МВ/м; $\sigma = 15{,}9$ мкКл/м^2; æ = 5; $\sigma' = 13{,}3$ мкКл/м^2.

2.32 В однородное электрическое поле с напряжённостью E_0 = 100 В/м помещена бесконечная плоскопараллельная пластина из однородного и изотропного диэлектрика с проницаемостью ε = 2. Пластина расположена перпендикулярно к E_0. Определить: 1) напряжённость поля E и электрическое смещение D внутри пластины; 2) поляризованность диэлектрика P; 3) поверхностную плотность связанных зарядов σ'.

Ответ: E = 50 В/м; D = 0,885 нКл/м^2; P = 0,44 нКл/м^2; $\sigma' = 0{,}44$ нКл/м^2.

2.33 Пластину из эбонита (ε = 2,7) толщиной 2 мм и площадью S = 300 см² поместили в однородное электрическое поле напряжённостью E_0 = 1 кВ/м, расположив так, что силовые линии перпендикулярны её плоской поверхности. Найти плотность связанных зарядов на поверхности пластин σ' и энергию электрического поля W, сосредоточенную в пластине.

Ответ: 5,56 нКл/м^2; 98,2 пДж.

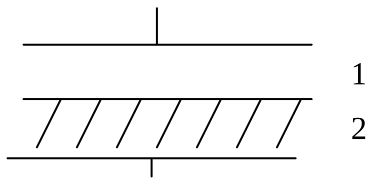
2.34 Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии 5 мм друг от друга, приложена разность потенциалов 150 В. К одной из пластин прилегает плоскопараллельная пластинка фарфора толщиной 3 мм. Найти напряжённость электрического поля в воздухе и фарфоре (ε = 6).

Ответ: E_1 = 60 кВ/м; E_2 = 10 кВ/м.

2.35 Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика: стекла (ε = 7) толщиной 0,2 см и слоем парафина (ε = 2) толщиной 0,3 см. Разность потенциалов между обкладками конденсатора − 300 В. Определить напряжённость поля и падение потенциалов в каждом из слоёв.

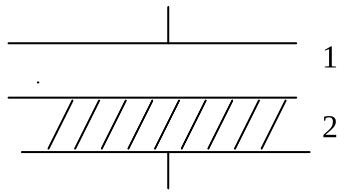
Ответ: E_1 = 24 кВ/м; E_2 = 84 кВ/м; U_1 = 48 В; U_2 = 252 В.

2.36 Первоначально пространство между обкладками плоского конденсатора за полнено воздухом и напряжённость поля в зазоре равна E_0. Затем половину зазора (см. рис.) заполнили однородным изотропным диэлектриком с проницаемостью ε. Найти модули векторов E и D в обеих частях зазора (1 и 2), если при введении диэлектрика напряжение между обкладками не менялось.



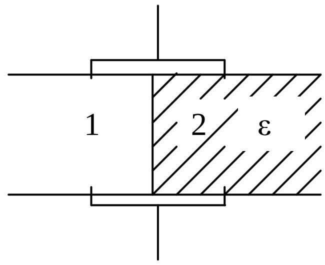
Ответ: $E_1 = \frac{2\varepsilon E_0}{\varepsilon+1}$; $E_2 = \frac{2E_0}{\varepsilon+1}$; $D_1 = D_2 = \frac{2\varepsilon\varepsilon_0 E_0}{\varepsilon+1}$.

2.37 Первоначально пространство между обкладками плоского конденсатора за полнено воздухом и напряжённость поля в зазоре равна E_0. Затем половину зазора (см. рис.) заполнили однородным изотропным диэлектриком с проницаемостью ε. Найти модули векторов E и D в обеих частях зазора (1 и 2), если при введении диэлектрика заряды на обкладках оставались неизменными.



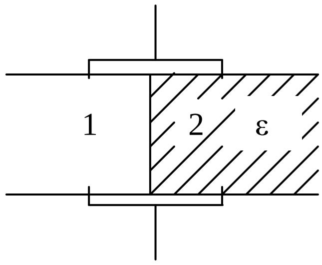
Ответ: $E_1 = E_0$; $E_2 = \frac{E_0}{\varepsilon}$; $D_1 = D_2 = \varepsilon_0 E_0$.

2.38 Первоначально пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено воздухом и напряжённость поля в зазоре равна E_0. Затем половину зазора (см. рис.) заполнили однородным изотропным диэлектриком с проницаемостью ε. Найти модули векторов E и D в обеих частях зазора (1 и 2), если при введении диэлектрика напряжение между обкладками не менялось.



Ответ: $E_1 = E_2 = E_0$; $D_1 = \varepsilon_0 E_0$; $D_2 = \varepsilon\varepsilon_0 E_0$.

2.39 Первоначально пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено воздухом и напряжённость поля в зазоре равна E_0. Затем половину зазора (см. рис.) заполнили однородным изотропным диэлектриком с проницаемостью ε. Найти модули векторов E и D в обеих частях зазора (1 и 2), если при введении диэлектрика заряды на обкладках остались неизменными.



Ответ: $E_1 = E_2 = \frac{2E_0}{\varepsilon + 1}$; $D_1 = \frac{2\varepsilon_0 E_0}{\varepsilon + 1}$; $D_2 = \frac{2\varepsilon\varepsilon_0 E_0}{\varepsilon + 1}$.

2.40 В воде электрическое поле напряжённости E = 1 кВ/см создаёт поляризацию, эквивалентную правильной ориентации только одной

из N молекул. Найти N. Электрический момент молекулы воды $p_e = 0{,}62\cdot10^{-29}$ Кл·м.
Ответ: $N = 3\cdot10^3$.

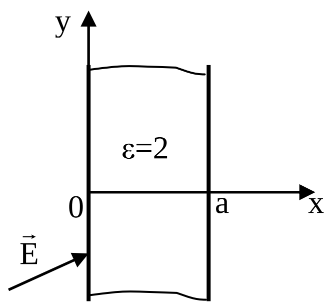
2.41 Во внешнем электрическом поле напряжённостью $E = 40$ МВ/м поляризованность P жидкого азота равна 109 мкКл/м². Определить диэлектрическую проницаемость ε жидкого азота и индуцированный электрический момент p_e одной молекулы. Плотность ρ жидкого азота – 804 кг/м³.
Ответ: $\varepsilon = 1{,}31$; $p_e = 6{,}3\cdot10^{-33}$ Кл·м.

2.42 Стеклянная пластина с проницаемостью $\varepsilon_2 = 6$ внесена в однородное электрическое поле напряжённостью $E_1 = 10$ В/м и расположена так, что угол α_1 между нормалью к пластине и направлением внешнего поля равен 30°. Найти напряженность E_2 поля в пластине, угол α_2, а также плотность σ' связанных зарядов, возникших на поверхности пластины. Диэлектрическая проницаемость среды вне пластины $\varepsilon_1 = 1$.
Ответ: $E_2 = 5{,}2$ В/м; $\alpha_2 = 740$; σ' = 64 пКл/м^2.

2.43 1. Записать четыре граничных условия для электрического поля.
2. Сделать рисунок преломления линий векторов E и D на границе двух диэлектриков (для объяснения граничных условий).

2.44 Диэлектрическая пластина шириной 2a с проницаемостью ε = 2 помещена в однородное электрическое поле напряженности E, линии которого перпендикулярны пластине. Изобразить на рисунке линии полей векторов E и D. Построить качественно графики зависимости $E_x(x)$ и $D_x(x)$.

2.45 Диэлектрическая пластина с проницаемостью ε = 2 помещена в однородное электрическое поле напряженности E (см. рис.):
1) изобразить качественно линии полей векторов E и D в вакууме и в пластинке;
2) построить качественно графики зависимостей $E_x(x)$ и $E_y(x)$, $D_x(x)$ и $D_y(x)$.

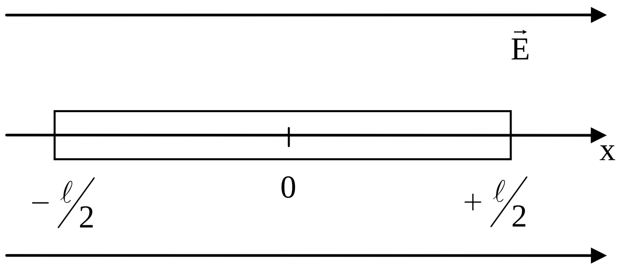


2.46 Объяснить электростатическую защиту от внешнего электрического поля.

2.47 Объяснить экранирование внешнего пространства от внутренних электростатических полей.

2.48 Металлический шар радиусом R помещен в однородное электрическое поле. Изобразить качественную картину эквипотенциальных поверхностей и линий поля вектора Е. Объяснить.

2.49 Длинная тонкая диэлектрическая палочка помещена в однородное электрическое поле. Изобразить качественную картину линий поля вектора Е и график зависимости $E_x(x)$.



2.50 В чем отличие двух явлений: поляризации и электростатической индукции? Сделать рисунок. Пояснить. В каких веществах они возникают?

П.2.2 Конденсаторы. Энергия конденсаторов. Закон Джоуля-Ленца

2.51 Определить расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов U = 150 В, причём площадь каждой пластины S = 100 см², её заряд q = 10 нКл. Диэлектриком служит слюда (ε = 7).
Ответ: $\alpha = 9{,}3$ мм.

2.52 Определить ёмкость коаксиального кабеля длиной 10 м, если радиус его центральной жилы r_1 = 1 см, радиус оболочки r_2 = 1,5 см, а изоляционным материалом служит резина (ε = 2,5).
Ответ: $C = 3{,}43$ $нФ$.

2.53 Пластины плоского конденсатора изолированы друг от друга слоем диэлектрика. Конденсатор заряжен до разности потенциалов 1 кВ и отключён от источника напряжения. Определить диэлектрическую проницаемость диэлектрика, если при его удалении разность потенциалов между пластинами конденсатора возрастает до 3 кВ.
Ответ: $\varepsilon_1 = 3$.

2.54 Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого 5 см, заряжен до 200 В и отключен от источника напряжения. Каким будет напряжение на конденсаторе, если его пластины раздвинуть до расстояния 10 см?

Ответ: $U_2 = 400$ В.

2.55 Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора U = 100 В. Площадь каждой пластины S = 200 см², расстояние между пластинами d = 0,5 мм, пространство между ними заполнено парафином (ε = 2). Определить силу притяжения пластин друг к другу.

Ответ: $F = 7$ мН.

2.56 Определить напряжённость электростатического поля на расстоянии l = 2 см от центра воздушного сферического конденсатора, образованного двумя шарами (внутренний радиус r_1 = 1 см, внешний r_2 = 3 см), между которыми приложена разность потенциалов U = 1 кВ.

Ответ: $E = 37{,}5$ кВ/м.

2.57 Разность потенциалов между точками A и B равна U = 9 В. Ёмкость конденсаторов равна C_1 = 3 мкФ и C_2 = 6 мкФ. Определить разность потенциалов U_1 и U_2 на обкладках каждого конденсатора.

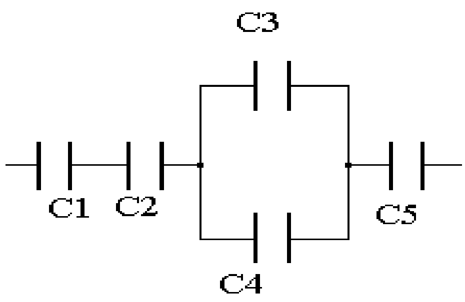
Ответ: $U_1 = 6$ В; $U_2 = 3$ В.

2.58 Ёмкость батареи конденсаторов, образованной двумя последовательно соединёнными конденсаторами, C = 100 пФ, а заряд q = 20 нКл. Определить ёмкость второго конденсатора, а также разность потенциалов на обкладках каждого конденсатора, если C_1 = 200 пФ.

Ответ: $C_2 = 200$ пФ; $U_1 = 100$ В; $U_2 = 100$ В.

2.59 Определить ёмкость C батареи конденсаторов. Ёмкость каждого конденсатора Ci = 1мкФ.

Ответ: $C = 0{,}286$ мкФ.



2.60 Маленький шарик подвешен на тонкой шёлковой нити в пространстве плоского воздушного конденсатора, круглые пластины которого расположены горизонтально. Шарик несёт заряд $q_1 = -\frac{1}{3}\cdot 10^{-8}$ Кл. Когда пластинам конденсатора сообщили заряд $q_2 = 32{,}7\cdot 10^{-8}$ Кл, натяжение нити увеличилось в 2 раза. Определить массу шарика. Радиус пластины конденсатора R = 10 см.

Ответ: $m = 0{,}4$ г.

2.61 Какое количество электричества пройдёт по проводам, соединяющим обкладки плоского конденсатора с зажимами аккумулятора при погружении конденсатора в керосин? Площадь пластины конденсатора S = 150 см², расстояние между пластинами d = 5 мм, ЭДС аккумулятора ε = 9,42 В, диэлектрическая проницаемость керосина ε = 2.

Ответ: $\Delta q = 2{,}5 \cdot 10^{-10}$ Кл.

2.62 Во сколько раз изменится ёмкость плоского конденсатора, если в него ввести две тонкие металлические пластины? Если соединить их между собой проводом?

Ответ: а) не изменится; б) увеличится в 1,5 раза.

2.63 Два проводящих шара, радиусы которых R_1 = 10 см и R_2 = 5 см, заряженные до потенциалов φ_1 = 20 В и φ_2 = 10 В, соединяются тонким проводником. Найти поверхностные плотности σ_1 и σ_2 электрических зарядов шаров после их соединения. Расстояние между шарами велико по сравнению с их радиусами.

Ответ: σ_1 = 1,475 нКл/м^2, σ_2 = 2,95 нКл/м^2.

2.64 Определить общую ёмкость С трёх плоских воздушных конденсаторов, соединённых параллельно. Геометрические размеры конденсаторов одинаковы (S = 314 см², d = 1 мм). Как изменится их ёмкость при заполнении одного слюдой (ε_1 = 7), а другого – парафином (ε_2 = 2).

Ответ: C_1 = 834 пФ, C_2 = 2779 пФ.

2.65 В заряженном плоском конденсаторе, отсоединённом от источника, напряжённость электрического поля равна E_0. Половину пространства между пластинами конденсатора заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε. Чему стала равна напряжённость E поля в пространстве между пластинами без диэлектрика?

Ответ: $E = \dfrac{2E_0}{\varepsilon + 1}$.

2.66 Между обкладками заряженного конденсатора плотно вдвигается пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε. Найти отношение плотностей связанных зарядов на поверхности диэлектрика, если конденсатор отключён от источника тока.

Ответ: $\dfrac{\sigma_{св}}{\sigma_1} = \dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$.

2.67 Конденсатор подключен к источнику тока (U = const). Между его обкладками вдвигается пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε . Найти отношение плотностей связанных зарядов на поверхности диэлектрика.

Ответ: $\dfrac{\sigma'_{св}}{\sigma_{св}} = \varepsilon$.

2.68 Определить электрическую ёмкость плоского конденсатора с двумя слоями диэлектриков: фарфора ($\varepsilon_1 = 5$) толщиной $d_1 = 2$ мм и эбонита ($\varepsilon_2 = 3$) толщиной $d_2 = 1{,}5$ мм, если площадь пластин $S = 100$ см².

Ответ: С = 98,3 пФ.

2.69 Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ($\varepsilon = 7$). Когда конденсатор присоединили к источнику напряжения, давление пластин на стекло стало равным 1 Па. Определить поверхностную плотность зарядов на пластинах конденсатора и электрическое смещение.

Ответ: $\sigma = D = 11{,}1$ мкКл/м^2.

2.70 Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ($\varepsilon = 7$). Когда конденсатор присоединили к источнику напряжения, давление пластин на стекло стало равным 1 Па. Определить напряжённость поля в стекле и объёмную плотность энергии поля в стекле.

Ответ: E = 179 кВ/м; w ≈ 1 Дж/м^3.

2.71 К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U_1 = 500$ В. Площадь пластин $S = 200$ см², расстояние между ними $d_1 = 1{,}5$ мм. Пластины раздвинули до расстояния $d_2 = 15$ мм. Найти энергию W_1 и W_2 конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением отключён.

Ответ: $W_1 = 14{,}8$ мкДж; $W_2 = 148$ мкДж.

2.72 К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U_1 = 500$ В. Площадь пластин $S = 200$ см², расстояние между ними $d_1 = 1{,}5$ мм. Пластины раздвинули до расстояния $d_2 = 15$ мм. Найти энергию W_1 и W_2 конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением не отключался.

Ответ: $W_1 = 14{,}8$ мкДж; $W_2 = 1{,}48$ мкДж.

2.73 В однородное электростатическое поле напряжённостью $E_0 = 700$ В/м перпендикулярно полю поместили стеклянную пластинку ($\varepsilon = 7$)

толщиной d = 1,5 мм и площадью S = 200 см². Определить поверхностную плотность связанных зарядов на стекле.
Ответ: $\sigma_{св}$ = 5,31 нКл/м^2.

2.74 В однородное электростатическое поле напряжённостью E_0 = 700 В/м перпендикулярно полю поместили стеклянную пластинку (ε = 7) толщиной d = 1,5 мм и площадью S = 200 см². Определить энергию поля в пластинке.
Ответ: W = 9,3 пДж.

2.75 Шар, погружённый в масло (ε = 2,2), имеет поверхностную плотность заряда σ = 1 мкКл/м² и потенциал φ = 500 В. Определить энергию шара.
Ответ: W = 0,3 мкДж.

2.76 Плоский конденсатор с расстоянием между пластинами d = 1 см заряжен до разности потенциалов U = 1 кВ. Определить объёмную плотность энергии поля конденсатора. Диэлектрик – стекло (ε = 7).
Ответ: w = 0,309 Дж/м^3.

2.77 Лейденская банка ёмкостью $3{,}3\cdot10^{-9}$ Ф заряжена до разности потенциалов 20 кВ. При разряде банки 10 % её энергии рассеивается в виде звуковых и электромагнитных волн. Определить количество выделившейся теплоты.
Ответ: Q = 0,6 Дж.

2.78 Металлический шар радиусом 3 см имеет заряд $2\cdot10^{-8}$ Кл. Шар погружён в керосин (ε = 2) так, что не касается стенок сосуда. Определить объёмную плотность энергии поля в точках, отстоящих от центра шара на расстоянии 2 и 4 см.
Ответ: при $r_1 < R$: $w_1 = 0$; при $r_2 > R$: w_2 = 0,028 Дж/м^3.

2.79 Определить количество электрической энергии, перешедшей в тепло при соединении конденсаторов C_1 = 2 мкФ и C_2 = 0,5 мкФ, заряженных до напряжений U_1 = 100 В и U_2 = 50 В соответственно, одноимённо заряженными обкладками.
Ответ: $Q = 5\cdot10^{-4}$ Дж

2.80 Какой заряд сообщён шару, если шар заряжен до потенциала φ = 100 В? Электрическая энергия, запасенная шаром, W = 2,02 Дж.
Ответ: $q = 4\cdot10^{-4}$ Кл

2.81 Определить, какое количество теплоты выделится при заземлении заряженного до потенциала $\varphi = 3$ кВ шара радиусом $R = 5$ см.
Ответ: $Q = 2{,}5\cdot10^{-5}$ Дж

ГЛАВА 3. Постоянный электрический ток

П.3.1 Электрический ток. Сопротивление проводника. Закон Ома

2.82 Ток в проводнике меняется со временем t по закону $I = 2 + 2t$ (I – в амперах, t – в секундах). При каком постоянном токе I_0 за время от $t_1 = 2$с до $t_2 = 6$ с через поперечное сечение проводника пройдёт такое же количество электричества?
Ответ: $I_0 = 10$ А

2.83 Ток в проводнике меняется по закону $I = 6 - 2t$ (I в амперах, t – в секундах). Какое количество электричества Q пройдёт через поперечное сечение за время от $t_1 = 0$ до $t_2 = 3$ с?
Ответ: $Q = 9$ Кл

2.84 Сила тока в проводнике изменяется по закону $I = (4 + t)$А (t измеряется в секундах). Какое количество тепла выделится в проводнике с сопротивлением $R = 1$ Ом за первые 3 секунды?
Ответ: $Q = 93$ Дж.

2.85 Медная и алюминиевая проволоки имеют одинаковую длину l и сопротивление R. Во сколько раз медная проволока массивнее алюминиевой?
Ответ: в 2,2 раза.

2.86 Элемент с ЭДС $\varepsilon = 2$ В и внутренним сопротивлением $r = 0{,}1$ Ом подключен к проводнику длиной $l = 1$ м. Чему равна напряженность электрического поля внутри проводника, если сила тока в цепи $I = 10$ А?
Ответ: $E = 1$ В/м.

2.87 Элемент с ЭДС $\varepsilon = 2$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом подключен к медному проводнику длиной $l = 100$ м. Сила тока в проводнике $I = 1$ А. Чему равна плотность тока в проводнике?
Ответ: $j = 0{,}588\cdot10^{6}$ А/м^2.

2.88 Элемент с ЭДС $\varepsilon = 2$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом подключен к алюминиевому проводнику длиной $l = 100$ м. Чему равна удельная тепловая мощность, выделяемая в проводнике, если сила тока в цепи $I = 1$ А?
Ответ: $w^* = 40$ Вт/м^3.

2.89 Элемент с ЭДС $\mathcal{E}$ = 2 В и внутренним сопротивлением r = 0,5 Ом включён в цепь с внешним сопротивлением R, при этом сила тока в ней равна I = 0,5 А. Каково внешнее сопротивление R при этих условиях? Найти падение напряжения внутри этого источника.
Ответ: R = 3,5 Ом.

2.90 Какую долю ЭДС $\mathcal{E}$ элемента составляет разность потенциалов U на его зажимах, если сопротивление элемента r в 10 раз меньше внешнего сопротивления R?
Ответ: $\frac{U}{\mathcal{E}} = 0{,}91$.

2.91 Элемент с ЭДС $\mathcal{E}$ = 20 В и внутренним сопротивлением r = 1 Ом подключен к алюминиевому проводу. Плотность тока в проводнике $j = 10^6$ А/м^2. Чему равна длина проводника, если сила тока $I = 10$ А?
Ответ: $l = 4$ м.

2.92 Элемент с внутренним сопротивлением r = 1 Ом подключен к медному проводнику длиной l = 100 м. Удельная тепловая мощность, выделяемая в проводнике $w^* = 80$ Вт/м^3, сила тока I = 1 А. Определить ЭДС.
Ответ: $\mathcal{E} = 1{,}12$ В.

2.93 В медном проводнике объёмом V = 12 см^3 при прохождении по нему тока выделилось Q = 600 Дж количества теплоты за 5 минут. Вычислить напряжённость E электрического поля в проводнике.
Ответ: $E = 0{,}053$ В/м.

2.94 Сила тока короткого замыкания $I_{к.з}$ элемента с ЭДС $\mathcal{E}$ = 100 В равна 10 А. Каков КПД элемента, если R = 40 Ом?
Ответ: $\eta = 0{,}8$.

2.95 Элемент с ЭДС $\mathcal{E}$ = 3,2 В имеет внутреннее сопротивление r = 1 Ом. Найти КПД элемента при токе.
Ответ: $\eta = 0{,}25$.

2.96 Элемент, сопротивление и амперметр соединены последовательно. Элемент имеет ЭДС $\mathcal{E}$ = 2 В и внутреннее сопротивление r = 0,4 Ом. Амперметр показывает ток. Каков КПД элемента?
Ответ: $\eta = 0{,}8$.

2.97 Двухпроводная линия питается от источника мощностью P = 2,5 кВт при токе потребления I = 12 А. Определить КПД линии, если её длина составляет $l = 1200$ м, а диаметр проводов d = 4,5 мм?

Ответ: $\eta = 0{,}85$.

2.98 К источнику с ЭДС $\mathcal{E}$ = 125 В и r = 0 подключены последовательно три резистора R_1 = 100 Ом, R_2 = 30 Ом, R_3 = 120 Ом. Определить мощность на каждом резисторе.
Ответ: P_1 = 25 Вт; P_2 = 7,5 Вт; P_3 = 30 Вт.

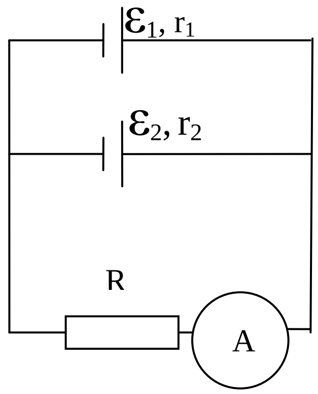
2.99 ЭДС батареи $\mathcal{E}$ = 24 В . Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, I_{max} = 5 А. Какая наибольшая мощность P_{max} может выделиться на подключенном к батарее резисторе с переменным сопротивлением R ? Чему равен при этом КПД?
Ответ: P_{max} = 30 Вт; $\eta = 0{,}5$.

П.3.2 Правила Кирхгофа для разветвленных цепей

2.100 Найти показания амперметра, если

$\mathcal{E}_1$ = 2 В; r_1 = 1 Ом

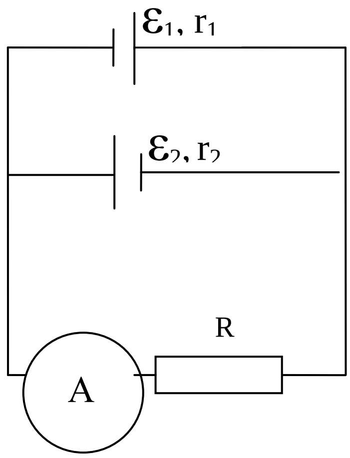
$\mathcal{E}_2$ = 3 В; r_2 = 1 Ом
R = 10 Ом
Ответ: I = 0,33 А.



2.101 Найти показания амперметра, если

$\mathcal{E}_1$ = 2 В; r_1 = 1 Ом;

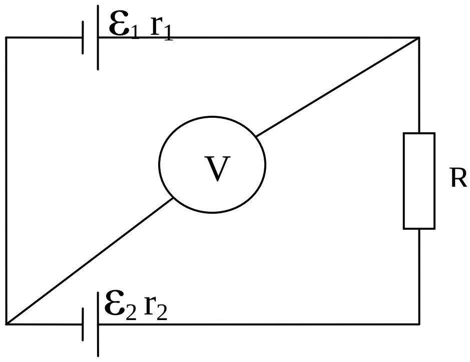
$\mathcal{E}_2$ = 3 В; r_2 = 1 Ом;
R = 10 Ом.
Ответ: $I = 0{,}48$ А.



2.102 Найти показания вольтметра, если

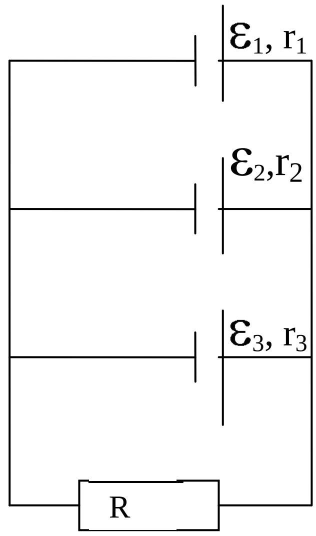
$\mathcal{E}_1 = 2$ В; $r_1 = 1$ Ом;

$\mathcal{E}_2 = 3$ В; $r_2 = 1$ Ом;
R = 10 Ом;
$R_V = \infty$.
Ответ: $U_v = 2{,}2$ В.



2.103 Три гальванических элемента $\mathcal{E}_1 = 1{,}3$ В,

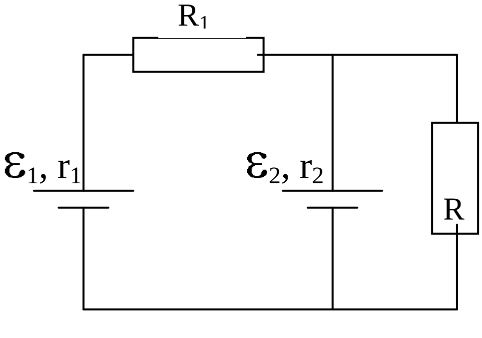
$\mathcal{E}_2 = 1{,}4$ В, $\mathcal{E}_3 = 1{,}5$ В с внутренним сопротивлением по r = 0,3 Ом каждый включены параллельно друг с другом на резистор сопротивлением R = 0,6 Ом. Определить силу тока в каждом элементе.
Ответ: $I_1 = 0{,}333$ А; $I_2 = 0{,}667$ А; $I_3 = 1$ А.



2.104 Определить токи во всех ветвях цепи,

если $\mathcal{E}_1 = 36$ В; $r_1 = 3{,}5$ Ом;

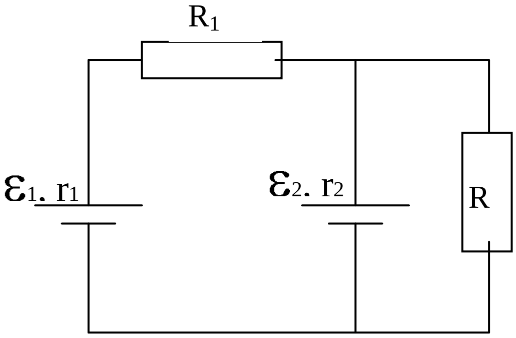
$\mathcal{E}_2 = 27$ В; $r_2 = 1$ Ом;
$R_1 = 8{,}5$ Ом; R = 6 Ом.
Ответ: $I_1 = 1$ А; $I_2 = 3$ А; I = 4 А.



2.105 Определить ЭДС источников тока

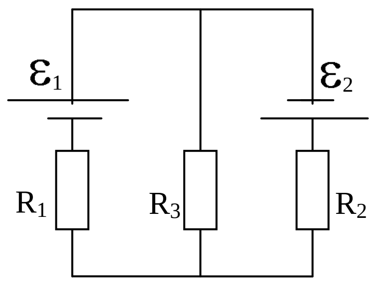
$\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$ если падение напряжения на R = 1,2 Ом; U = 0,6 В; $R_1 = 0{,}9$ Ом; внутреннее сопротивление источников $r_1 = 0{,}1$ Ом; $r_2 = 0{,}3$ Ом; $I_2 = 0{,}7$ А.

Ответ: $\mathcal{E}_1 = 0{,}34$ В; $\mathcal{E}_2 = 0{,}81$ В.



2.106 В цепи

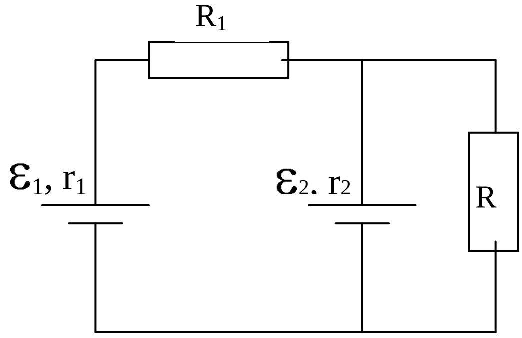
$\varepsilon_1 = 130$ В; $\varepsilon_2 = 85$ В;
$R_1 = R_3 = 20$ Ом;
$R_2 = 40$ Ом;
$r_1 = r_2 = 0$.
Определить токи в ветвях.
Ответ: $I_1 = 4{,}7$ А; $I_2 = 2{,}9$ А; $I_3 = 1{,}8$ А.



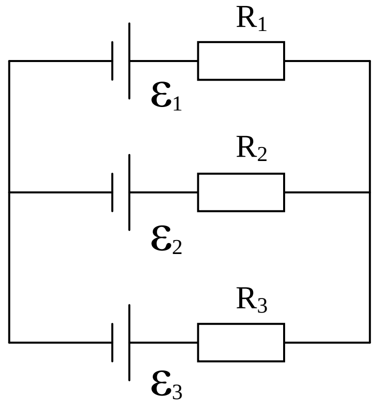
2.107 Известно,

$\varepsilon_1 = 10$ В; $r_1 = 1$ Ом; $r_2 = 2$ Ом;
$R_1 = R = 15$ Ом;
$I_1 = 0{,}34$ А.

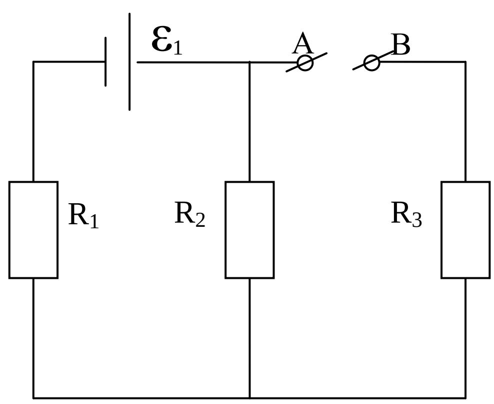
Определить ЭДС ε_2.
Ответ: 4, 42 В.



2.108 Три источника с ЭДС: $\varepsilon_1 = 11$ В; $\varepsilon_2 = 4$ В; $\varepsilon_3 = 6$ В и три реостата с сопротивлениями $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 2$ Ом соединены по схеме. Определить силы токов в реостатах. Внутреннее сопротивление источника тока пренебрежимо мало.
Ответ: $I_1 = 0{,}8$ А; $I_2 = 0{,}3$ А; $I_3 = 0{,}5$ А.

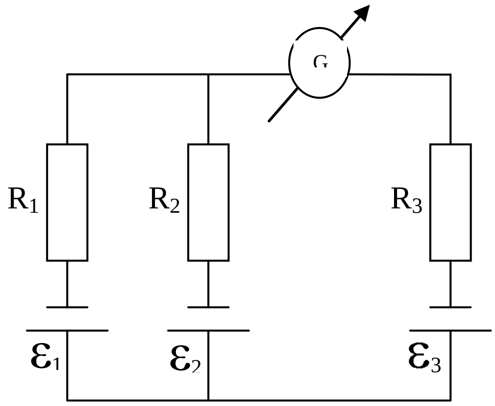


2.109 Три сопротивления $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 1$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, а также источник тока с ЭДС $\varepsilon = 1{,}4$ В соединены по схеме. Определить ЭДС источника тока, который надо подключить в цепь между точками А и В, чтобы в сопротивлении R шёл ток силой I = 1 А в направлении, указанном стрелкой. Сопротивлением источников тока пренебречь.
Ответ: $I_2 = 3{,}6$ В.



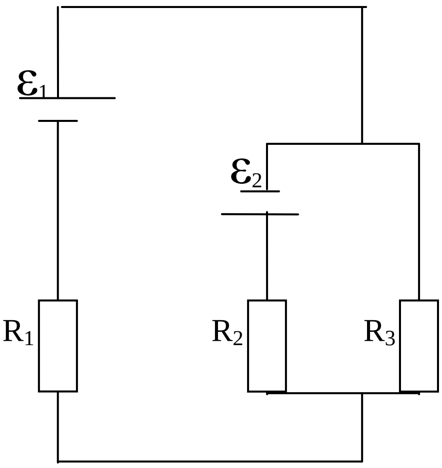
2.110 В схеме: R_1 = 10 Ом, R_2 = 15 Ом, R_3 = 5 Ом, ε_1 = 20 В, ε_2 = 40 В. При каком значении ЭДС ε_3 ток через гальванометр равен нулю I = 0. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

Ответ: ε_3 = 20 В.



2.111 В схеме: ε_1 = 1В; ε_2 = 3В; R_1 = 1Ом; R_2 = 2 Ом; R_3 = 3 Ом. Внутреннее сопротивление источников равно нулю. Найти значения сил токов.

Ответ: I_1 = 1,28 А; I_2 = 1,37 А; I_3 = 0,09 А.



П.3.3 Классическая теория электропроводности металлов

2.112 Определить суммарный импульс электронов в прямом проводнике длиной l = 100 м поперечным сечением S = 10 мм^2, при плотности тока j = $2\cdot10^6$ А/м^2.

Ответ: p = $1{,}14\cdot10^{-8}$ кг·м/с.

2.113 Определить, сколько времени потребуется для перемещения свободного электрона от одного конца медного провода до другого. Длина провода– 15 км, его сечение – 1 мм^2, при напряжении на его концах 7 В.

Ответ: t = 240 лет .

2.114 Исходя из классической теории электропроводности металлов, определить среднюю кинетическую энергию $\langle\varepsilon_к\rangle$ электрона в металле, если отношение λ/γ теплопроводности к удельной проводимости равно $6{,}7\cdot10^{-6}$ В^2/К.

Ответ: λ/γ = $6{,}2\cdot10^{-21}$ Дж.

2.115 Металлический проводник движется с ускорением а = 100 м/с^2. Используя модель свободных электронов, определить напряжённость Е электрического поля в проводнике.
Ответ: $E = 5{,}7\cdot10^{-10}$ В/м.

2.116 В железном проводнике число свободных электронов равно числу атомов. Определить число столкновений электронов в единицу времени t = 1 с, если удельное сопротивление железа $\rho = 9{,}8\cdot10^{-8}$, плотность железа 7870 кг/м^3.
Ответ: $\langle z\rangle = 1{,}17\cdot10^{14}$ с$^{-1}$.

2.117 Удельное сопротивление металла $\rho = 5\cdot10^{-7}$ Ом·м. Определить длину свободного пробега электронов в металле, если концентрация свободных электронов равна $n = 10^{28}$ м$^{-3}$. Среднюю скорость хаотического движения электронов принять 10^5 м/с.
Ответ: $\langle l\rangle = 1{,}42\cdot10^{-9}$ м.

ГЛАВА 4. Магнитное поле в вакууме

П.4.1 Определение вектора магнитной индукции

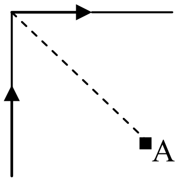
2.118 По тонкому проводящему кольцу радиусом 10 см течёт ток силой 80 А. Найти магнитную индукцию в точке, равноудалённой от всех точек кольца на 20 см.
Ответ: $6{,}28\cdot10^{-5}$ Тл.

2.119 По контуру в виде равностороннего треугольника идёт ток силой 40 А. Длины сторон треугольника равны 30 см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения высот.
Ответ: $2{,}4\cdot10^{-4}$ Тл.

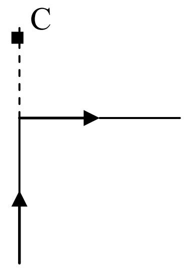
2.120 По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи силой 20 А и 30 А в одном направлении. Расстояние d между проводами 10 см. Вычислить магнитную индукцию в точке, удалённой от обоих проводов на одинаковое расстояние 10 см.
Ответ: $8{,}72\cdot10^{-5}$ Тл.

2.121 По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника, течёт ток силой 60 А. Длины сторон прямоугольника равны 30 см и 40 см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения диагоналей.
Ответ: $2\cdot10^{-4}$ Тл.

2.122 Бесконечно длинный прямой проводник, по которому идёт ток 5 А, согнут под прямым углом. Найти индукцию магнитного поля на расстоянии а = 10 см от вершины угла в точке А, лежащей на биссектрисе прямого угла.
Ответ: 24,2 мкТл.



2.123 Бесконечно длинный прямой проводник, по которому идёт ток 5 А, согнут под прямым углом. Найти индукцию магнитного поля в точке С на расстоянии 10 см от вершины угла.
Ответ: 5 мкТл.



2.124 По круговому витку радиуса 100 мм циркулирует ток 1 А. Найти магнитную индукцию в: 1) в центре витка; 2) на оси витка на расстоянии b = 100 мм от его центра.
Ответ: 1) 6,28 мкТл; 2) 2,23 мкТл.

2.125 По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной 10 см течет ток 100 А. Найти магнитную индукцию в точке пересечения диагоналей квадрата.
Ответ: 1,13 мТл.

2.126 Бесконечно длинный провод образует круговую петлю, касательную к проводу. По проводу течет ток силой 5 А. Найти радиус петли, если известно, что напряженность магнитного поля в центре петли 41 А/м.
Ответ: 8 см.

2.127 Два круговых витка расположены в двух взаимноперпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка 2см и токи, текущие по виткам, $I_1 = I_2 = 5$ А. Найти индукцию магнитного поля в центре витков.
Ответ: $2{,}23 \cdot 10^{-4}$ Тл.

П.4.2 Сила Ампера

2.128 По двум параллельным проводам длиной 3 м каждый текут одинаковые токи по 500 А. Расстояние между проводами 10 см. Определить силу взаимодействия проводов.
Ответ: 1,5 Н.

2.129 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 1 кА. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном её длине.
Ответ: 0,1 Н.

2.130 По проводу в виде тонкого полукольца радиусом 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 50 мТл. По проводу течёт ток силой 10 А. Найти силу, действующую на провод, если плоскость полукольца перпендикулярна линиям индукции, а провода, подводящие ток, находятся вне поля.
Ответ: 0,1 Н.

2.131 Между полюсами электромагнита в горизонтальном поле находится проводник, расположенный горизонтально, причём его направление перпендикулярно магнитному полю. Какой ток должен идти через проводник, чтобы он висел не падая, если индукция поля равна 0,01 Тл и масса единицы длины проводника 0,01кг/м?
Ответ: 10 А.

2.132 Горизонтальные рельсы находятся на расстоянии 0,3 м друг от друга. На них лежит стержень, перпендикулярный рельсам. Какой должна быть индукция магнитного поля для того, чтобы стержень начал двигаться, если по нему пропустить ток 50 А. Коэффициент трения стержня о рельсы – 0,2. Масса стрежня – 0,5 кг.
Ответ: ≈ 66 мТл.

П.4.3 Сила Лоренца. Движение частицы в перекрестных полях

2.133 Электрон, ускоренный разностью потенциалов 300 В, движется параллельно прямолинейному длинному проводу на расстоянии 4 мм от него. Какая сила подействует на электрон, если по проводнику пустить ток 5 А?
Ответ: $4{\cdot}10^{-16}$ Н.

2.134 Поток α-частиц (ядер атома гелия), ускоренных разностью потенциалов 10 МВ, влетает в однородное магнитное поле напряжённостью в 15 кЭ (1 Э = 80 А/м). Скорость каждой частицы направлена под прямым углом к направлению магнитного поля. Найти силу, действующую на каждую частицу.
Ответ: $4{,}7{\cdot}10^{-12}$ Н.

2.135 Электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Скорость электрона $4{\cdot}10^{7}$ м/с. Индукция магнитного поля – 1мТл. Чему равны тангенциальное и нормальное ускорения

электрона в магнитном поле.
Ответ: $a_\tau = 0$; $a_n = 7\cdot10^{15}$ м/с^2.

2.136 Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории электрона?
Ответ: в 42,9 раза.

2.137 Винтовая линия, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет диаметр 80 мм и шаг 200 мм. Индукция поля − 5 мТл. Определить величину скорости электрона.
Ответ: $4{,}5\cdot10^7$ м/с.

2.138 α-частица, имеющая скорость 2 Мм/с, влетает под углом 30° к сонаправленным магнитному (B = 1 мТл) и электрическому (E = 1 кВ/м) полям. Определить ускорение α-частицы.
Ответ: $6{,}8\cdot10^{10}$ м/с^2.

2.139 Однородное магнитное (B = 2,5 мТл) и электрическое (E = 10 кВ/м) поля скрещены под прямым углом. Электрон, скорость которого равна 4 Мм/с, влетает в эти поля так, что силы, действующие на него со стороны магнитного и электрического полей, сонаправлены. Определить ускорение электрона.
Ответ: $3{,}5\cdot10^{15}$ м/с^2.

2.140 Электрон движется в однородном магнитном поле (B = 10 мТл) по винтовой линии, радиус которой 1 см и шаг 6 см. Определить период обращения электрона и его скорость.
Ответ: T = 3,57 нс; V = 24,6 Мм/с.

2.141 Альфа-частица прошла ускоряющую разность потенциалов 104 В и влетела в скрещенные под прямым углом электрическое (E = 10 кВ/м) и магнитное (B = 0,1Тл) поля. Найти отношение заряда α-частицы к её массе, если, двигаясь перпендикулярно обоим полям, частица не испытывает отклонений от прямолинейной траектории.
Ответ: 48,1 МКл/кг.

2.142 Магнитное поле напряжённостью H = 8 кА/м и электрическое поле напряжённостью E = 1 кВ/м направлены одинаково. Электрон влетает в магнитное поле со скоростью 10^5 м/с. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорение электрона. Задачу решить, если скорость электрона направлена параллельно направлению электрического поля.

Ответ: $a_n = 0; a = a_\tau = 1,76 \cdot 10^4$ м/с^2.

2.143 Магнитное поле напряжённостью H = 8 кА/м и электрическое поле напряжённостью E = 1 кВ/м направлены одинаково. Электроны влетают в магнитное поле со скоростью 10^5 м/с. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорения электрона. Задачу решить, если скорость электрона направлена перпендикулярно к направлению электрического поля.

Ответ: $a_\tau = 0; a = a_n = 2,5 \cdot 10^{14}$ м/с^2.

2.144 Перпендикулярно однородному магнитному полю (B = 1 мТл) возбуждено однородное электрическое (E = 1 кВ/м). Перпендикулярно обоим полям влетает α-частица со скоростью 1 Мм/с. Определить нормальное и тангенциальное ускорения частицы в момент вхождения её в поле. Заряд α-частицы – $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса – $6,64 \cdot 10^{-27}$ кг. (Решить два случая – для взаимно противоположных направлений вектора скорости V).

Ответ: 1) a = 0 ; 2) $9,6 \cdot 10^{10}$ м/с^2.

П.4.4 Магнитный поток. Явления индукции и самоиндукции

2.145 Определить поперечную разность потенциалов, возникающую при протекании тока силой I вдоль проводящей пластины толщиной d, помещённой перпендикулярно магнитному полю с индукцией B. Концентрация носителей тока n.

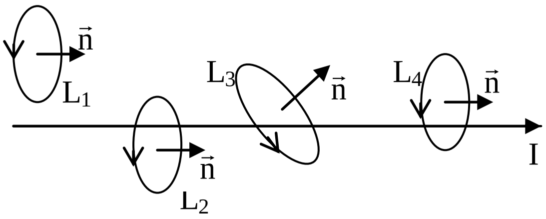
Ответ: $U = \frac{1}{ne} \cdot \frac{IB}{d}$.

2.146 Через сечение S = db медной пластинки толщиной d = 0,5 мм и высотой b = 10 мм пропускается ток 20 А. При помещении пластины в магнитное поле, перпендикулярное ребру b и направлению тока, возникает поперечная разность потенциалов U = 3,1 мкВ. Индукция магнитного поля B = 1 Тл. Найти концентрацию n электронов проводимости в меди и их скорость при этих условиях.

Ответ: $n = 8,1 \cdot 10^{28}\,м^{-3}$; $V = 0,31$ мм/с.

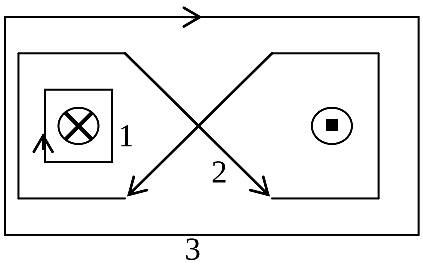
2.147 Контуры L1, L2, L3, L4 представляют окружности радиуса R. Направление и расположение контуров относительно прямого

тока I показано на рисунке. Найти циркуляцию вектора магнитной индукции B вдоль контуров.
Ответ: 1) 0; 2) μ_0I; 3) μ_0I ; 4) μ_0I.



2.148 По прямому бесконечно длинному проводнику течёт ток 10 А. Пользуясь теоремой о циркуляции вектора B, определить магнитную индукцию B в точке, расположенной на расстоянии 20 см от проводника.
Ответ: 10 мкТл.

2.149 Определить циркуляцию вектора магнитной индукции для замкнутых контуров, изображённых на рисунке, если сила тока в обоих проводниках I = 2A.
Ответ: 2,51 мкТл·м; 5,02 мкТл·м; 0.



2.150 Электрон, влетев в однородное магнитное поле с магнитной индукцией 30 мТл, движется по окружности радиусом 10 см. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.
Ответ: 4,21 пА·м^2.

2.151 Протон движется по окружности радиусом 0,5 см с линейной скоростью 10^6 м/с. Определить магнитный момент p_m, создаваемый эквивалентным круговым током.
Ответ: $4\cdot10^{-16}$ А·м^2.

2.152 Рамка гальванометра длиной 4 см и шириной 1,5 см, содержащая 200 витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Плотность рамки параллельна линиям индукции. Найти механический момент M, действующий на рамку, когда по витку течёт ток силой 1мА, и магнитный момент p_m рамки при этом токе.
Ответ: $1{,}2\cdot10^{-5}$ Н·м; $1{,}2\cdot10^{-4}$ А·м^2.

2.153 Круглая рамка с током (S = 15 см^2) закреплена параллельно магнитному полю (B = 0,1 Тл) и на неё действует вращающий момент M = 0,45 мН·м. Определить силу тока, текущего по рамке.
Ответ: I = 3A.

2.154 Магнитная индукция B на оси тороида без сердечника 0,16 мТл. Внешний диаметр тороида d_1 = 60 см, внутренний d_2 = 40 см. Тороид

содержит 200 витков. Пользуясь теоремой о циркуляции вектора B, определить силу тока в обмотке тороида.
Ответ: 1А.

2.155 Соленоид содержит N = 4000 витков провода, по которому течет ток силой I = 20 А. Определить магнитный поток Ф и потокосцепление Ψ, если индуктивность L = 0,4 Гн.
Ответ: 2 мВб, 8 Вб.

2.156 На картонный каркас длиной l = 50 см и площадью сечения S = 4 см^2 намотан в один слой провод диаметром d = 0,2 мм так, что витки плотно прилегают друг к другу (толщиной изоляции пренебречь). Определить индуктивность L получившегося соленоида.
Ответ: 6,28 мГн.

2.157 Кольцо радиусом R = 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,318 Тл. Плоскость кольца составляет угол φ = 30° с линиями индукции. Вычислить магнитный поток Ф, пронизывающий кольцо.
Ответ: 5 мВб.

2.158 По проводнику, согнутому в виде квадрата со стороной a = 10 см, течет ток силой I = 20 А. Плоскость квадрата перпендикулярна магнитным силовым линиям поля. Определить работу, которую необходимо совершить для того, чтобы удалить проводник за пределы поля. Магнитная индукция B = 0,1 Тл. Поле считать однородным.
Ответ: 0,02 Дж.

2.159 Рамка площадью S = 50 см^2, содержащая N = 100 витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле (B = 40 мТл). Определить максимальную ЭДС индукции ε_{max}, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой n = 96 мин$^{-1}$.
Ответ: 2,01 В.

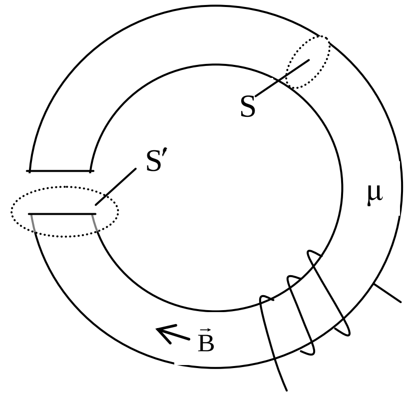
2.160 Кольцо из проволоки сопротивлением R = 10^{-3} Ом находится в однородном магнитном поле (B = 0,4 Тл). Плоскость кольца составляет угол φ = 90° с линиями индукции. Определить заряд Q, который протечет по кольцу, если его выдернуть из поля. Площадь кольца S = 10 см^2.
Ответ: 0,4 Кл.

2.161 По обмотке соленоида индуктивностью L = 0,2 Гн течет ток силой I = 10 А. Определить энергию W магнитного поля соленоида.
Ответ: 10 Дж.

ГЛАВА 5. Магнитное поле в веществе

2.162 Напряженность H магнитного поля в меди равна 1 МА/м. Определить намагниченность J меди и магнитную индукцию B, если известно, что удельная магнитная восприимчивость $\chi_{уд} = -1{,}1\cdot10^{-9}$ м^3/кг.
Ответ: - 9,8 А/м; 1,26 Тл.

2.163 Железный сердечник, изображенный на рисунке, несет на себе обмотку, по которой течет постоянный ток. В результате в сердечнике возникает поле с индукцией B. Проницаемость железа при этих условиях равна μ. Площадь поперечного сечения сердечника равна S. Один из концов сердечника входит внутрь воображаемой замкнутой поверхности S'. Найти для этой поверхности поток Φ_B вектора B и поток Φ_H вектора H.

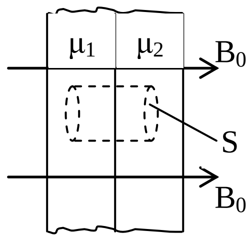


Ответ: 0; $\dfrac{SN}{\mu_0}\left(1-\dfrac{1}{\mu}\right)$.

2.164 В однородное магнитное поле с индукцией B_o помещена бесконечная плоскопараллельная пластина из однородного и изотропного магнетика с проницаемостью μ. Пластина расположена перпендикулярно к линиям B. Определить магнитную индукцию B и напряженность магнитного поля H в магнетике.

Ответ: B_0; $\dfrac{H_0}{\mu}$.

2.165 Две пластины из магнетиков с проницаемостями μ_1 и μ_2 сложены вместе и помещены в перпендикулярное к ним однородное поле с индукцией B_o. Пунктиром показана воображаемая цилиндрическая поверхность с образующими, параллельными B_o, и основаниями площадью S, перпендикулярными к B_o. Чему равны поток Φ_B вектора B и поток Φ_H вектора H через эту поверхность?

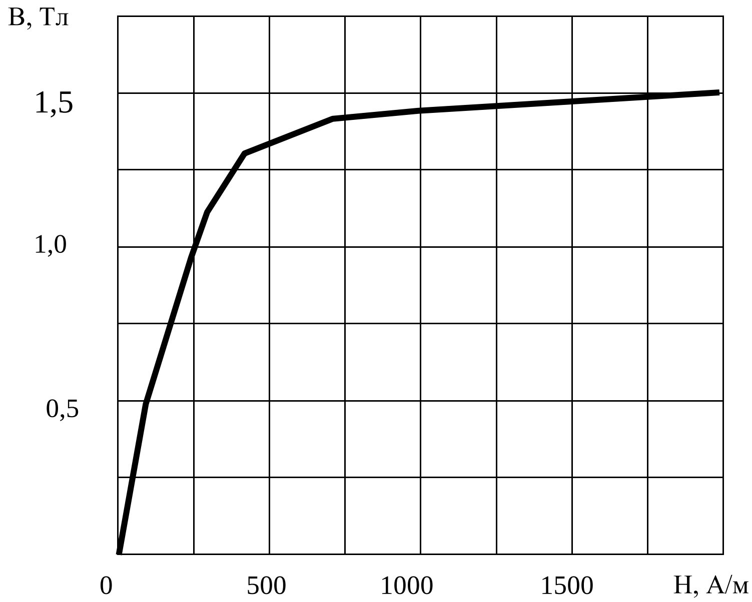


Ответ:0; $\dfrac{SB_0}{\mu_0}\left(\dfrac{1}{\mu_2}-\dfrac{1}{\mu_1}\right)$.

2.166 На постоянный магнит, имеющий форму цилиндра длины L = 15 см намотали равномерно N = 300 витков тонкого провода. При пропускании по нему тока I = 3,0 А поле вне магнита исчезло. Найти коэрцитивную силу H_c материала магнита.
Ответ: 6 кА/м.

2.167 Постоянный магнит имеет вид кольца с узким зазором между полюсами. Средний диаметр кольца d = 20 см. Ширина зазора b = 2,0 мм, индукция магнитного поля в зазоре B = 40 мТл. Пренебрегая рассеянием магнитного потока на краях зазора, найти модуль напряженности магнитного поля внутри магнита.
Ответ: $\approx 0{,}10$ кА/м.

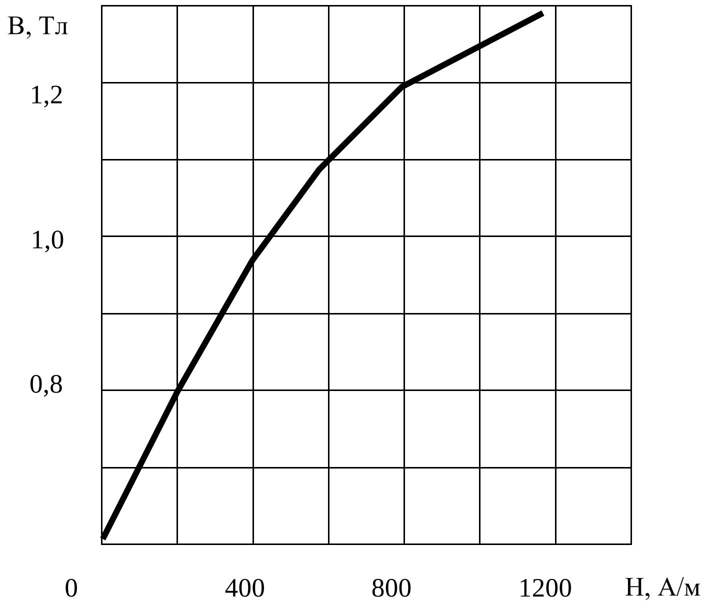
2.168 Железный сердечник, имеющий форму тора с квадратным сечением, несет на себе обмотку из N = 1000 витков. Внутренний радиус тора a = 0,200 м, внешний b = 0,250 м. Определить энергию W, запасенную в сердечнике в том случае, когда по обмотке течет ток I = 1,26 А. Определение произвести приближенно, полагая напряженность поля по всему сечению тороида одинаковой и равной значению H в центре сечения. Использовать график зависимости B(H).
Ответ:2,7 Дж.



2.169 Соленоид, находящийся в диамагнитной среде, имеет длину $l = 30$ см, площадь поперечного сечения $S = 15$ см^2 и число витков $N = 500$. Индуктивность соленоида $L = 1{,}5$ мГн, а сила тока, протекающего по

нему, $I=1$ А. Определить магнитную индукцию внутри соленоида и намагниченность внутри соленоида.
Ответ: $B=2$ мТл; $J=75$ А/м.

2.170 Индукция магнитного поля в железном стержне $B=1{,}2$ Тл. Определить для него намагниченность, если зависимость $B(H)$ для данного сорта ферромагнетика представлена на рисунке.
Ответ: $J=954$ кА/м.



2.171 Железный сердечник длиной $L=0{,}5$ м малого сечения $(d<<L)$ содержит 400 витков. Определить магнитную проницаемость железа при силе тока $I=1$ А. Использовать график B(H) к задаче 2.170.
Ответ: $\mu=1{,}19\cdot10^3$.

2.172 По обмотке соленоида, в который вставлен железный сердечник (график зависимости индукции магнитного поля от напряженности представлен в задаче 2.170), течет ток $I=4$ А. Соленоид имеет длину $l=1$ м, площадь поперечного сечения $S=20$ см^2 и число витков $N=400$. Определить энергию магнитного поля соленоида.
Ответ: $W=2{,}24$ Дж.

2.173 Обмотка тороида с железным сердечником имеет $N=151$ виток. Средний радиус r тороида составляет 3 см. Сила тока I через обмотку равна 1 А. Определить для этих условий: 1) индукцию магнитного поля внутри тороида; 2) намагниченность сердечника; 3) магнитную проницаемость сердечника. Использовать график зависимости $B(H)$, приведенный в задаче 2.170

Ответ: $B = 1{,}2$ Тл; $J = 954$ кА/м; $\mu = 1{,}19 \cdot 10^3$.

2.174 На железном сердечнике в виде тора со средним диаметром $d = 70$ мм намотана обмотка с общим числом витков $N = 600$. В сердечнике сделана узкая поперечная прорезь шириной $b = 1{,}5$ мм. При силе тока через обмотку $I = 4$ А магнитная индукция в прорези $B_0 = 1{,}5$ Тл. Пренебрегая рассеянием поля на краях прорези, определите магнитную проницаемость железа для данных условий.

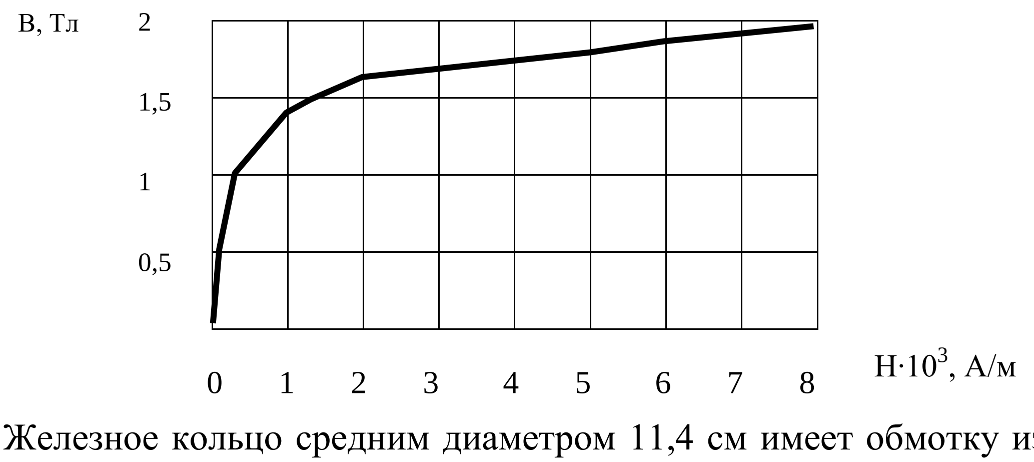
Ответ: $\mu = 428$.

2.175 На железном сердечнике в виде тора со средним диаметром $d = 70$ мм намотана обмотка с общим числом витков $N = 600$. В сердечнике сделана узкая поперечная прорезь шириной $b = 1{,}5$ мм. Магнитная проницаемость железа для данных условий $\mu = 500$. Определить при силе тока через обмотку $I = 4$ А: напряженность H магнитного поля в железе и напряженность H_0 магнитного поля в прорези.

Ответ: $H = 2{,}48$ кА/м; $H_0 = 1{,}24$ МА/м.

2.176 Железный сердечник длиной 50 см с воздушным зазором длиною 1 мм имеет обмотку из 20 витков. Какой ток должен протекать по этой обмотке, чтобы в зазоре получить индукцию в 1,2 Тл? График зависимости B(H) представлен на рисунке.

Ответ: 11,97 А.



2.177 Железное кольцо средним диаметром 11,4 см имеет обмотку из 200 витков, по которой течет ток силой 5 А. Какой ток должен проходить через обмотку, чтобы индукция в сердечнике осталась прежней, если в кольце сделать прорезь шириной в 1 мм? Использовать график B(H) к задаче 2.176.

Ответ: 11,76 А.

2.178 Сколько ампер–витков потребуется для создания магнитного потока в 0,42 мВб в соленоиде с железным сердечником длиною 120 см и площадью поперечного сечения 3 $см^2$? Использовать график B(H) к задаче 2.176.
Ответ: 955 А·вит.

2.179 Определить магнитную индукцию в замкнутом железном сердечнике тороида длиной 20,9 см, если число ампер–витков обмотки тороида равно 1500. Найти магнитную проницаемость материала сердечника при этих условиях. Использовать график B(H) к задаче 2.176.
Ответ: 1,8 Тл; $\mu = 200$.

2.180 Длина железного сердечника тороида – 1 м. Длина воздушного зазора – 3 мм. Число витков в обмотке – 2000. Найти напряженность магнитного поля в воздушном зазоре при силе тока в 1 А в обмотке тороида. Использовать график B(H) к задаче 2.176.
Ответ: $6{,}2 \cdot 10^5$ А/м.

2.181 Длина железного сердечника тороида – 50 см, длина воздушного промежутка – 2 мм. Число ампер-витков обмотки тороида равно 2000. Во сколько раз уменьшится напряженность магнитного поля в воздушном зазоре, если при том же количестве ампер–витков увеличить вдвое его длину? Использовать график B(H) к задаче 2.176.
Ответ: в 1,9 раза.

2.182 Замкнутый железный сердечник длиной 50 см имеет обмотку в 1000 витков. По обмотке течет ток силой 1 А. Какой ток надо пустить через обмотку, чтобы при удалении сердечника индукция осталась прежней? Определить магнитную проницаемость сердечника при этих условиях. Использовать график B(H) к задаче 2.176.
Ответ: $\mu = 620$, $J_1 = 620$ А.

2.183 Сколько ампер–витков необходимо для получения индукции в 1,6 Тл в электромагните с воздушным промежутком 5 мм и сердечником из железа длиной 50 см. Использовать график B(H) к задаче 2.176
Ответ: 7000 А·вит.

2.184 На железное кольцо намотано в один слой 500 витков провода. Средний диаметр кольца – 25 см. Найти индукцию магнитного поля в железе и магнитную проницаемость железа при силе тока в обмотке 0,5 А. Использовать график B(H) к задаче 2.176.
Ответ: 1 Тл; $\mu = 2500$.

2.185 Железное кольцо имеет воздушный зазор 5 мм. Длина средней линии кольца – 1 м. Сколько витков содержит обмотка на кольце, если при силе тока 4 А индукция магнитного поля в воздушном зазоре 0,75 Тл. Использовать график B(H) к задаче 2.176.
Ответ: 808 вит.

ГЛАВА 6. Уравнения Максвелла. Принцип относительности в электродинамике

2.186 Напряженность электрического поля в зазоре между обкладками конденсатора площадью 1 см^2, заполненного диэлектриком с ε = 1000, изменяется по закону E = (0,1 + 0,17t)·10^6 В/м·с. Определить силу тока смещения в таком электрическом поле.
Ответ: $I_{см} = 1{,}5\cdot10^{-7}$ А.

2.187 При разрядке длинного цилиндрического конденсатора длиной l = 1 см и внешним радиусом R = 1 см в подводящих проводниках течет ток проводимости силой $1\cdot10^{-7}$ А. Определить плотность тока смещения в диэлектрике между обкладками конденсатора.
Ответ: $j = 1{,}59\cdot10^{-5}$ А/м^2.

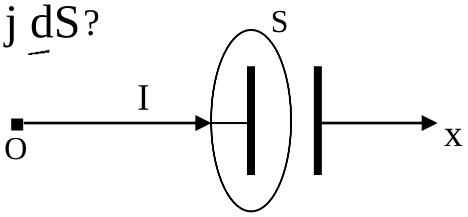
2.188 При разрядке плоского конденсатора, площадь обкладок которого $S = 10\cdot10^{-4}$ м^2, заполненного диэлектриком с ε = 100 В, в проводящих проводах ток изменяется линейно по закону $I = 10^{-6}\cdot t$ А. Определить закон изменения напряженности электрического поля в конденсаторе.
Ответ: $E = 5\cdot10^3\, t^2$, В/м.

2.189 Вычислить циркуляцию вектора магнитной индукции вдоль контура, охватывающего токи I_1 = 10 А, I_2 = 25 А, текущие в одном направлении и ток I_3 = 30 А, текущий в противоположном направлении.
Ответ: $Ц_в = 6{,}28\cdot10^{-6}$ Тл·м.

2.190 Заряд q>0 движется в вакууме с постоянной скоростью V_0 вдоль оси Ox. Найти плотность тока смещения $j_{см}$, создаваемого зарядом вблизи оси X на расстоянии *r* от заряда, считая $|\vec{r}| >> R$.

Ответ: $j_{см} = \frac{q}{2\pi}\cdot\frac{V_0}{r^3}$.

2.191 Плоский конденсатор, представляющий собой две круглые пластины, заряжают постоянным током I, направление которого представлено на рисунке. Замкнутая поверхность S охватывает одну из пластин. Чему равен интеграл $\oint\limits_{\langle S\rangle}(\vec{j}_{см}+\vec{j})\,d\vec{S}$?



Ответ: $\oint\limits_{\langle S\rangle}(\vec{j}_{см}+\vec{j})\,d\vec{S}=0$.

2.192 Заряд $q>0$ движется в вакууме с постоянной скоростью V_0 вдоль оси OX. Определить напряженность магнитного поля H, создаваемого движущимся зарядом, на малом, по сравнению с r, расстоянии R от оси X.

Ответ: $H=\dfrac{qV_0}{4\pi r^3}R$.

2.193 Напряженность электрического поля в электромагнитной волне меняется по закону $E = E_0\sin\omega t$, где E_0 – амплитуда напряженности электрического поля E_0 = 0,1 мВ/м. Плотность тока проводимости $j = 10^{-3}$ А/м^2. Какова должна быть частота изменения напряженности электрического поля, чтобы максимальная плотность тока смещения в вакууме была равна плотности тока проводимости.
Ответ: $\omega = 1{,}13\cdot10^{12}$ Гц.

2.194 Найти плотность тока смещения $j_{см}$ в плоском конденсаторе, пластины которого раздвигаются со скоростью V, оставаясь параллельными друг другу, если конденсатор подключен к источнику питания с ЭДС $\mathcal{E}$, а диэлектрическая проницаемость среды равна единице. Начальное расстояние между пластинами – d_0.

Ответ: $j_{см}=\dfrac{\varepsilon_0 SV}{(d_0+V\cdot t)^2}$.

2.195 Найти циркуляцию напряженности магнитного поля в контуре S, охватывающем плоский конденсатор, круглые пластины которого раздвигаются со скоростью V, оставаясь параллельными друг другу, если заряды на пластине конденсатора не меняются, а радиус контура R равен радиусу пластинки конденсатора.
Ответ: 0.

2.196 Цилиндрический нерелятивистский электронный пучок радиуса r_0 распространяется в свободном пространстве. Электроны пучка летят параллельно, энергия их – W, а концентрация – n .Найти величину и направление вектора Пойнтинга в любой точке пространства внутри пучка при $r<r_0$.

Ответ: $\frac{n^2e^2r^2}{4\varepsilon_0}\sqrt{\frac{2W}{m}}$.

2.197 Цилиндрический нерелятивистский пучок электронов радиуса r_0 распространяется в свободном пространстве со скоростью V. Электроны в пучке летят параллельно и их концентрация – n. Найти величину и направление вектора Пойнтинга в любой точке пространства вне пучка при $r>r_0$.

Ответ: $\frac{e^2n^2V\cdot r_0^4}{4\varepsilon_0 r^2}$.

ГЛАВА 7. Квазистационарное электромагнитное поле

2.198 В цепи шел ток силой I_0 = 50 А. Источник тока можно отключить от цепи, не разрывая её. Определить силу тока I в этой цепи через t = 0,01 с после отключения её от источника тока. Сопротивление цепи равно 20 Ом, её индуктивность 0,1 Гн.

Ответ: 6,76 А.

2.199 Источник тока замкнули на катушку с сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 1 Гн. Через какое время сила тока замыкания достигнет 0,9 предельного значения?

Ответ: 0,23 с.

2.200 Цепь состоит из катушки индуктивностью 1 Гн и сопротивлением 10 Ом. Источник тока можно отключить, не разрывая цепи. Определить время, по истечении которого сила тока уменьшится до 0,001 первоначального значения.

Ответ: 0,69 с.

2.201 К источнику тока с внутренним сопротивлением r = 2 Ом подключают катушку индуктивностью L = 0.5 Гн и сопротивлением R = 8 Ом. Найти время t, в течение которого ток в катушке, нарастая, достигнет значения, отличающегося от максимального на 1%.

Ответ: 0,23 с.

2.202 Имеется катушка, индуктивностью 0,2 Гн и сопротивлением 1,64 Ом. Найти, во сколько раз уменьшится сила тока в катушке через 0,05 с после того, как ЭДС выключена и катушка замкнута накоротко.
Ответ: в 1,5 раза.

2.203 Катушка имеет сопротивление 10 Ом и индуктивность 0,144 Гн. Через какое время, после включения в катушке потечёт ток, равный половине установившегося.
Ответ: 9,98 мс.

2.204 В однородном магнитном поле ($B = 0{,}2$ Тл) равномерно с частотой $n = 600$ мин$^{-1}$ вращается рамка, содержащая N = 1200 витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки S = 100 см^2. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную ЭДС, индуцируемую в рамке.
Ответ: $\varepsilon_{i_{max}} = 151$ В.

2.205 Магнитная индукция B поля между полюсами двухполюсного генератора равна 1 Тл. Ротор имеет 140 витков (площадь каждого витка $S = 500$ см^2). Определить частоту вращения якоря, если максимальное значение ЭДС индукции равно 220 В.
Ответ: $n = 5$ с$^{-1}$.

2.206 В однородном магнитном поле равномерно вращается прямоугольная рамка с частотой $n = 600$ мин$^{-1}$. Амплитуда индуцируемой ЭДС $\varepsilon_0 = 3$ В. Определить максимальный магнитный поток через рамку.
Ответ: $\Phi_{max} = 47{,}7$ мВб.

2.207 Имеется катушка индуктивностью $L = 0{,}1$ Гн и сопротивлением $R = 0{,}8$ Ом. Определить, во сколько раз уменьшится сила тока в катушке через $t = 30$ мс, если источник тока отключить и катушку замкнуть накоротко.
Ответ: $\frac{I_0}{I} = 1{,}27$.

2.208 Определить, через сколько времени сила тока замыкания достигнет 0,95 предельного значения, если источник тока замыкают на катушку сопротивлением $R = 12$ Ом и индуктивностью 0,5 Гн.
Ответ: $t = 125$ мс.

2.209 Трансформатор с коэффициентом трансформации 0,15 понижает напряжение с 220 В до 6 В. При этом сила тока во вторичной обмотке равна 6 А. Пренебрегая потерями энергии в первичной обмотке, определить сопротивление вторичной обмотки трансформатора.
Ответ: $R_2 = 4{,}5$ Ом.

2.210 Трансформатор, понижающий напряжение с 220 В до 12 В, содержит в первичной обмотке $N_1 = 2000$ витков. Сопротивление вторичной обмотки $R_2 = 0{,}15$ Ом. Пренебрегая сопротивлением первичной обмотки, определить число витков во вторичной обмотке, если во внешнюю цепь (в сети пониженного напряжения) передают мощность $P = 20$ Вт.
Ответ: $N_2 = 111$.

6 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989-2001.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. – М.: 1990-2002. – Т.1 – 5.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1977-2003. – Т.1 – 3.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа,1990-2000. – 480с.
5. Иродов И.Е. Основные законы механики.- М.: Высшая школа, 1985-2002. – 250 с.
6. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. – М.: Высшая школа, 1983-2002. –280 с.
7. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1979-2001.
8. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. – М.: Наука, 1982-2003.
9. Трофимова Т.И., Павлова Е.Г. Сборник задач по курсу физики. – М.: Высшая школа, 1999. – 591 с.

Дополнительная.

1. Киттель Ч. Берклеевский курс физики/ Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман, Э. Парселл, Ф. Крауфорд, Э. Вихман, Ф. Рейф. – М.: Наука, 1971-1974. – Т. I-Y.
2. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике./ Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1965-1967. – Вып. 1-9.
3. Матвеев А.Н. Курс общей физики. – М.: Высшая школа, 1976-1989. – Т. I-Y.
4. Астахов А.В., Широков Ю.М. Курс физики. – М.: Наука, 1977-1981. – Т. 1-3.
5. Алешкевич В.А. Механика сплошных сред (университетский курс общей физики)/ В.А. Алешкевич, Л.Г. Деденко, В.А. Караваев. – М.: Изд-во физического факультета МГУ, 1999.
6. Орир Д. Физика.- М.: Мир, 1981, – Т.1-2.
7. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. – М.: Изд-во МГУ, 1998.
8. Ахиезер А.И. Курс общей физики/ А.И. Ахиезер, Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1969.
9. Кристи Р., Питти А. Строение вещества: введение в современную физику. – М.: Наука, 1969.
10. Мешков И.Н., Чириков Б.В. Электромагнитное поле. – Новосибирск.: Наука, 1985, – Т.1-11.

11. Тарасов Л.В. Основы квантовой механики. – М.: Высшая школа, 1978.
12. Тарасов Л.В. Введение в квантовую оптику. – М.: Высшая школа, 1987.
13. Суханов А.Д. Лекции по квантовой физики. – М.: Высшая школа, 1991.
14. Киттель Ч. Введение в физику твердого тала. – М.: Наука, 1978.
15. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. –М.: Высшая школа, 1977.
16. Готтфрид К., Вайскопф В. Концепция физики элементарных частиц. – М., Мир, 1988.
17. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. – М.: Наука, 1987.
18. Козел С.М. Сборник задач по физике/ С.М. Козел, Э.И. Рашба, С.А. Славатинский. – М.: Наука, 1987.

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОБЩЕМУ КУРСУ ФИЗИКИ

РАЗДЕЛ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Составители: А. И. Гаврилов, И. В. Двадненко, Л. Е. Изотова; Е. С. Киселева, В. В. Кривченско, А. В. Лаврентьев, Т. А. Лактионова, В. М. Лекарев, А. С. Магомадов, А. Ф. Маштаков, Р. Г. Мальцев, В. Г. Миненко, Ф. В. Москаленко, П. А. Осюшкин, Г. П. Падалкина, М. Л. Романова, Б. В. Ромашко, Е. В. Рыкова, Е. В. Сердюк, М. И. Сомова, Е. Ю. Стригин, Р. В. Терюха, А. А. Федоров, В.Г.Чередниченко, Т.Л. Шапошникова.

Редактор Т.П. Горшкова

А.В. Снагощенко

Компьютерная верстка Р.Г. Мальцев

Подписано в печать
Бумага «Снегурочка»
Печ.л. 6,75
Усл.печ.л. 6,55
Уч.-изд.л. 4,70

Формат 60х84/16
Печать трафаретная
Изд. № 95
Тираж 100 экз.
Заказ № 75

Цена договорная

Издание КубГТУ: 350072, Краснодар, ул. Московская 2, кор. А.

Отпечатано в ООО «Издательский Дом – Юг»,
350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, корп. «В», оф. В-120
тел. 8-918-41-50-571