



ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
БАШКИРСКИЙ КОЛЛЕДЖ СВАРОЧНО-МОНТАЖНОГО  
И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
физика

Уфа 2024

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

С учетом основной образовательной программы среднего общего образования, одобренной решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию (протокол от 28 июня 2016 г. № 2/16-з).

Программа разработана на основе требований ФГОС среднего общего образования, предъявляемых к структуре, содержанию и результатам освоения учебной дисциплины «Физика», в соответствии с Рекомендациями по организации получения среднего общего образования в пределах освоения образовательных программ среднего профессионального образования на базе основного общего образования с учетом требований федеральных государственных образовательных стандартов и получаемой профессии или специальности среднего профессионального образования (письмо Департамента государственной политики в сфере подготовки рабочих кадров и ДПО Минобр науки России от 17.03.2015 № 06-259).

Содержание программы «Физика» направлено на достижение следующих **целей**: освоение знаний о фундаментальных физических • законах и принципах, лежащих в основе современной физической картины мира; наиболее важных открытиях в области физики, оказавших определяющее влияние на развитие техники и технологии; методах научного познания природы;

- овладение умениями проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, выдвигать гипотезы и строить модели, применять полученные знания по физике для объяснения разнообразных физических явлений и свойств веществ; практически использовать физические знания; оценивать достоверность естественнонаучной информации;

- развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей в процессе приобретения знаний и умений по физике с использованием различных источников информации и современных информационных технологий;

- воспитание убежденности в возможности познания законов природы, использования достижений физики на благо развития человеческой цивилизации; необходимости сотрудничества в процессе совместного выполнения задач, уважительного отношения к мнению оппонента при обсуждении проблем естественнонаучного содержания; готовности к морально-этической оценке использования научных достижений, чувства ответственности за защиту окружающей среды;

- использование приобретенных знаний и умений для решения практических задач повседневной жизни, обеспечения безопасности собственной жизни, рационального природопользования и охраны окружающей среды и возможность применения знаний при решении задач, возникающих в последующей профессиональной деятельности.

В программу включено содержание, направленное на формирование у студентов компетенций, необходимых для качественного освоения ОПОП ППКРС на базе основного общего образования с получением среднего общего образования; программы подготовки квалифицированных рабочих, служащих, (ППКРС).

Программа учебной дисциплины «Физика» является основой для разработки рабочих программ, в которых профессиональные образовательные организации, реализующие образовательную программу среднего общего образования в пределах освоения ОПОП ППКРС на базе основного общего образования, уточняют содержание учебного материала, последовательность его изучения, распределение учебных часов, тематику рефератов, индивидуальных проектов, виды самостоятельных работ, учитывая специфику программ подготовки квалифицированных рабочих, осваиваемой профессии.

Программа может использоваться другими профессиональными образовательными организациями, реализующими образовательную программу среднего общего

образования в пределах освоения ОПОП ППКРС на базе основного общего образования (ППКРС).

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКА»**

В основе учебной дисциплины «Физика» лежит установка на формирование у обучаемых системы базовых понятий физики и представлений о современной физической картине мира, а также выработка умений применять физические знания как в профессиональной деятельности, так и для решения жизненных задач. Многие положения, развиваемые физикой, рассматриваются как основа создания и использования информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) — одного из наиболее значимых технологических достижений современной цивилизации.

Физика дает ключ к пониманию многочисленных явлений и процессов окружающего мира (в естественнонаучных областях, социологии, экономике, языке, литературе и др.). В физике формируются многие виды деятельности, которые имеют метапредметный характер. К ним в первую очередь относятся: моделирование объектов и процессов, применение основных методов познания, системно-информационный анализ, формулирование гипотез, анализ и синтез, сравнение, обобщение, систематизация, выявление причинно-следственных связей, поиск аналогов, управление объектами и процессами. Именно эта дисциплина позволяет познакомить студентов с научными методами познания, научить их отличать гипотезу от теории, теорию от эксперимента.

Физика имеет очень большое и всевозрастающее число междисциплинарных связей, причем на уровне как понятийного аппарата, так и инструментария. Сказанное позволяет рассматривать физику как метадисциплину, которая предоставляет междисциплинарный язык для описания научной картины мира.

Физика является системообразующим фактором для естественнонаучных учебных предметов, поскольку физические законы лежат в основе содержания химии, биологии, географии, астрономии и специальных дисциплин (техническая механика, электротехника, электроника и др.). Учебная дисциплина «Физика» создает универсальную базу для изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин, закладывая фундамент для последующего обучения студентов.

Обладая логической стройностью и опираясь на экспериментальные факты, учебная дисциплина «Физика» формирует у студентов подлинно научное мировоззрение. Физика является основой учения о материальном мире и решает проблемы этого мира.

Изучение физики в профессиональных образовательных организациях, реализующих образовательную программу среднего общего образования в пределах освоения ОПОП ППКРС на базе основного общего образования, имеет свои особенности в зависимости от профиля профессионального образования. Это выражается в содержании обучения, количестве часов, выделяемых на изучение отдельных тем программы, глубине их освоения студентами, объеме и характере практических занятий, видах внеаудиторной самостоятельной работы студентов. При освоении профессий ППКРС и специальностей ППКРС естественнонаучного профиля профессионального образования физика изучается на базовом уровне ФГОС среднего общего образования, при освоении профессий ППКРС и специальностей ППКРС технического профиля профессионального образования физика изучается более углубленно, как профильная учебная дисциплина, учитывающая специфику осваиваемых профессий или специальностей. При освоении профессий ППКРС и специальностей ППКРС социально-экономического и гуманитарного профилей профессионального образования физика изучается в составе интегрированной учебной дисциплины «Естествознание» обязательной предметной области «Естественные науки» ФГОС среднего общего образования.

В содержании учебной дисциплины по физике при подготовке обучающихся по

профессиям и специальностям технического профиля профессионального образования профильной составляющей является раздел «Электродинамика», так как большинство профессий и специальностей, относящихся к этому профилю, связаны с электротехникой и электроникой.

Содержание учебной дисциплины, реализуемое при подготовке обучающихся по профессиям и специальностям естественнонаучного профиля профессионального образования, не имеет явно выраженной профильной составляющей, так как профессии и специальности, относящиеся к этому профилю обучения, не имеют преимущественной связи с тем или иным разделом физики. Однако в зависимости от получаемой профессии ППКРС или специальности ППКРС в рамках естественнонаучного профиля профессионального образования повышенное внимание может быть уделено изучению раздела «Молекулярная физика. Термодинамика», отдельных тем раздела «Электродинамика» и особенно тем экологического содержания, присутствующих почти в каждом разделе. Теоретические сведения по физике дополняются демонстрациями и лабораторными работами. Изучение общеобразовательной учебной дисциплины «Физика» завершается подведением итогов в форме дифференцированного зачета или экзамена в рамках промежуточной аттестации студентов в процессе освоения ОПОП ППКРС с получением среднего общего образования (ППКРС)1.

### **МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПЛАНЕ**

Учебная дисциплина «Физика» является учебным предметом по выбору из обязательной предметной области «Естественные науки» ФГОС среднего общего образования. В профессиональных образовательных организациях, реализующих образовательную программу среднего общего образования в пределах освоения ОПОП ППКРС на базе основного общего образования, учебная дисциплина «Физика» изучается в общеобразовательном цикле учебного плана ОПОП ППКРС на базе основного общего образования с получением среднего общего образования (ППКРС). В учебных планах ППКРС, место учебной дисциплины «Физика» — в составе общеобразовательных учебных дисциплин по выбору, формируемых из обязательных предметных областей ФГОС среднего общего образования, для профессий ППКРС и специальностей ППКРС соответствующего профиля профессионального образования.

1) сформированность понимания роли физики в экономической, технологической, социальной и этической сферах деятельности человека; роли и места физики в современной научной картине мира; роли астрономии в практической деятельности человека и дальнейшем научно-техническом развитии;

2) сформированность системы знаний о физических закономерностях, законах, теориях, действующих на уровнях микромира, макромира и мегамира, представлений о всеобщем характере физических законов; представлений о структуре построения физической теории, что позволит осознать роль фундаментальных законов и принципов в современных представлениях о природе, понять границы применимости теорий, возможности их применения для описания естественнонаучных явлений и процессов;

3) сформированность умения различать условия применимости моделей физических тел и процессов (явлений): инерциальная система отсчета, материальная точка, равноускоренное движение, свободное падение, абсолютно упругая деформация, абсолютно упругое и абсолютно неупругое столкновения, моделей газа, жидкости и твердого (кристаллического) тела, идеального газа, точечный заряд, однородное электрическое поле, однородное магнитное поле, гармонические колебания, математический маятник, идеальный пружинный маятник,

4) сформированность умения объяснять особенности протекания физических явлений: механическое движение, тепловое движение частиц вещества, тепловое равновесие, броуновское движение, диффузия, испарение, кипение и конденсация, плавление и кристаллизация, направленность теплопередачи, электризации тел, эквипотенциальности поверхности заряженного проводника, электромагнитной индукции, самоиндукции, зависимости сопротивления полупроводников «р-» и «n-типов» от температуры, резонанса, интерференции волн, дифракции, дисперсии, полного внутреннего отражения, фотоэффект, физические принципы спектрального анализа и работы лазера, «альфа-» и «бета-» распады ядер, гамма-излучение ядер;

5) сформированность умений применять законы классической механики, молекулярной физики и термодинамики, электродинамики, квантовой физики для анализа и объяснения явлений микромира, макромира и мегамира, различать условия (границы, области) применимости физических законов, понимать всеобщий характер фундаментальных законов (закон сохранения механической энергии, закон сохранения импульса, закон всемирного тяготения, первый закон термодинамики, закон сохранения электрического заряда, закон сохранения энергии) и ограниченность использования частных законов; анализировать физические процессы, используя основные положения, законы и закономерности: относительность механического движения, формулы кинематики равноускоренного движения, преобразования Галилея для скорости и перемещения, три закона Ньютона, принцип относительности Галилея, закон всемирного тяготения, законы сохранения импульса и механической энергии, связь работы силы с изменением механической энергии, условия равновесия твердого тела; связь давления идеального газа со средней кинетической энергией теплового движения и концентрацией его молекул, связь температуры вещества со средней кинетической энергией его частиц, связь давления идеального газа с концентрацией молекул и его температурой, уравнение Менделеева-Клапейрона, первый закон

термодинамики, закон сохранения энергии в тепловых процессах; закон сохранения электрического заряда, закон Кулона, потенциальность электростатического поля, принцип суперпозиции электрических полей, закона Кулона; законы Ома для участка цепи и для замкнутой электрической цепи, закон Джоуля-Ленца, закон электромагнитной индукции, правило Ленца, постулаты специальной теории относительности Эйнштейна, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, первый и второй постулаты Бора, принцип неопределенности Гейзенберга, закон сохранения заряда, массового числа и энергии в ядерных реакциях, закон радиоактивного распада;

6) сформированность умений применять основополагающие астрономические понятия, теории и законы для анализа и объяснения физических процессов происходящих на звездах, в звездных системах, в межгалактической среде; движения небесных тел, эволюции звезд и Вселенной;

7) сформированность умений исследовать и анализировать разнообразные физические явления и свойства объектов, проводить самостоятельные исследования в реальных и лабораторных условиях, читать и анализировать характеристики приборов и устройств, объяснять принципы их работы;

8) сформированность представлений о методах получения научных астрономических знаний; владение умениями самостоятельно формулировать цель исследования (проекта), выдвигать гипотезы на основе знания основополагающих физических закономерностей и законов, проверять их экспериментальными средствами; планировать и проводить физические эксперименты, описывать и анализировать полученную при выполнении эксперимента информацию, определять достоверность полученного результата;

9) сформированность умения решать расчетные задачи с явно заданной и неявно заданной физической моделью: на основании анализа условия выбирать физические модели, отвечающие требованиям задачи, применять формулы, законы, закономерности и постулаты физических теорий при использовании математических методов решения задач, проводить расчеты на основании имеющихся данных, анализировать результаты и корректировать методы решения с учетом полученных

результатов; решать качественные задачи, требующие применения знаний из разных разделов школьного курса физики, а также интеграции знаний из других предметов естественнонаучного цикла: выстраивать логическую цепочку рассуждений с опорой на изученные законы, закономерности и физические явления;

10) сформированность умений анализировать и оценивать последствия бытовой и производственной деятельности человека, связанной с физическими процессами, с позиций экологической безопасности; представлений о рациональном природопользовании, а также разумном использовании достижений науки и технологий для дальнейшего развития человеческого общества;

11) овладение различными способами работы с информацией физического содержания с использованием современных информационных технологий, развитие умений критического анализа и оценки достоверности получаемой информации;

12) овладение организационными и познавательными умениями самостоятельного приобретения новых знаний в процессе выполнения проектных и учебно-исследовательских работ, умениями работать в группе с выполнением различных социальных ролей, планировать работу группы, рационально распределять деятельность в нестандартных ситуациях, адекватно оценивать вклад каждого из участников группы в решение рассматриваемой проблемы;

13) сформированность мотивации к будущей профессиональной деятельности по специальностям физико-технического профиля.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение содержания учебной дисциплины «Физика» обеспечивает достижение студентами следующих результатов:

• **личностных:**

**Л13.** Готовый соответствовать ожиданиям работодателей: активный, проектно-мыслящий, эффективно взаимодействующий и сотрудничающий с коллективом, осознанно выполняющий профессиональные требования, ответственный, пунктуальный, дисциплинированный, трудолюбивый, критически мыслящий, демонстрирующий профессиональную жизнестойкость.

**Л14.** Оценивающий возможные ограничители свободы своего профессионального выбора, predeterminedенные психофизиологическими особенностями или состоянием здоровья, мотивированный к сохранению здоровья в процессе профессиональной деятельности.



**Л17.** Содействующий поддержанию престижа своей профессии, отрасли и образовательной организации.

**Л18.** Принимающий цели и задачи научно-технологического, экономического, информационного и социокультурного развития России, готовый работать на их достижение.

**Л19.** Управляющий собственным профессиональным развитием, рефлексивно оценивающий собственный жизненный опыт, критерии личной успешности, признающий ценность непрерывного образования,

**Л20.** Способный генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, перестраивать сложившиеся способы решения задач, выдвигать альтернативные варианты действий с целью выработки новых оптимальных алгоритмов; позиционирующий себя в сети как результативный и привлекательный участник трудовых отношений.

**Л21.** Самостоятельный и ответственный в принятии решений во всех сферах своей деятельности, готовый к исполнению разнообразных социальных ролей, востребованных бизнесом, обществом и государством.

— чувство гордости и уважения к истории и достижениям отечественной физической науки; физически грамотное поведение в профессиональной деятельности и быту при обращении с приборами и устройствами;

— готовность к продолжению образования и повышения квалификации в избранной профессиональной деятельности и объективное осознание роли физических компетенций в этом;

— умение использовать достижения современной физической науки и физических технологий для повышения собственного интеллектуального развития в выбранной профессиональной деятельности;

— умение самостоятельно добывать новые для себя физические знания, используя для этого доступные источники информации;

— умение выстраивать конструктивные взаимоотношения в команде по решению общих задач;

— умение управлять своей познавательной деятельностью, проводить самооценку уровня собственного интеллектуального развития;

**• метапредметных:**

— использование различных видов познавательной деятельности для решения физических задач, применение основных методов познания (наблюдения, Экзамен проводится по решению профессиональной образовательной организации либо по желанию студентов при изучении учебной дисциплины «Физика» как профильной учебной дисциплины. описания, измерения, эксперимента) для изучения различных сторон окружающей действительности;

— использование основных интеллектуальных операций: постановки задачи, формулирования гипотез, анализа и синтеза, сравнения, обобщения, систематизации, выявления причинно-следственных связей, поиска аналогов, формулирования выводов для изучения различных сторон физических объектов, явлений и процессов, с которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере;

— умение генерировать идеи и определять средства, необходимые для их реализации;

— умение использовать различные источники для получения физической информации, оценивать ее достоверность;

— умение анализировать и представлять информацию в различных видах;

— умение публично представлять результаты собственного исследования, вести дискуссии, доступно и гармонично сочетая содержание и формы представляемой информации;

• **предметных:**

— сформированность представлений о роли и месте физики в современной научной картине мира; понимание физической сущности наблюдаемых во Вселенной явлений, роли физики в формировании кругозора и функциональной грамотности человека для решения практических задач;

— владение основополагающими физическими понятиями, закономерностями, законами и теориями; уверенное использование физической терминологии и символики;

— владение основными методами научного познания, используемыми в физике: наблюдением, описанием, измерением, экспериментом;

— умения обрабатывать результаты измерений, обнаруживать зависимость между физическими величинами, объяснять полученные результаты и делать выводы;

— сформированность умения решать физические задачи;

— сформированность умения применять полученные знания для объяснения условий протекания физических явлений в природе, профессиональной сфере и для принятия практических решений в повседневной жизни;

— сформированность собственной позиции по отношению к физической информации, получаемой из разных источников.

1) сформированность понимания роли физики в экономической, технологической, социальной и этической сферах деятельности человека; роли и места физики в современной научной картине мира; роли астрономии в практической деятельности человека и дальнейшем научно-техническом развитии;

2) сформированность системы знаний о физических закономерностях, законах, теориях, действующих на уровнях микромира, макромира и мегамира, представлений о всеобщем характере физических законов; представлений о структуре построения физической теории, что позволит осознать роль фундаментальных законов и принципов в современных представлениях о природе, понять границы применимости теорий, возможности их применения для описания естественнонаучных явлений и процессов;

3) сформированность умения различать условия применимости моделей физических тел и процессов (явлений): инерциальная система отсчета, материальная точка, равноускоренное движение, свободное падение, абсолютно упругая деформация, абсолютно упругое и абсолютно неупругое столкновения, моделей газа, жидкости и твердого (кристаллического) тела, идеального газа, точечный заряд, однородное электрическое поле, однородное магнитное поле, гармонические колебания, математический маятник, идеальный пружинный маятник,

гармонические волны, идеальный колебательный контур, тонкая линза; моделей атома, атомного ядра и квантовой модели света;

4) сформированность умения объяснять особенности протекания физических явлений: механическое движение, тепловое движение частиц вещества, тепловое равновесие, броуновское движение, диффузия, испарение, кипение и конденсация, плавление и кристаллизация, направленность теплопередачи, электризации тел, эквипотенциальности поверхности заряженного проводника, электромагнитной индукции, самоиндукции, зависимости сопротивления полупроводников «р-» и «n-типов» от температуры, резонанса, интерференции волн, дифракции, дисперсии, полного внутреннего отражения, фотоэффект, физические принципы спектрального анализа и работы лазера, «альфа-» и «бета-» распады ядер, гамма-излучение ядер;

5) сформированность умений применять законы классической механики, молекулярной физики и термодинамики, электродинамики, квантовой физики для анализа и объяснения явлений микромира, макромира и мегамира, различать условия (границы, области) применимости физических законов, понимать всеобщий характер фундаментальных законов (закон сохранения механической энергии, закон сохранения импульса, закон всемирного тяготения, первый закон термодинамики, закон сохранения электрического заряда, закон сохранения энергии) и ограниченность использования частных законов; анализировать физические процессы, используя основные положения, законы и закономерности: относительность механического движения, формулы кинематики равноускоренного движения, преобразования Галилея для скорости и перемещения, три закона Ньютона, принцип относительности Галилея, закон всемирного тяготения, законы сохранения импульса и механической энергии, связь работы силы с изменением механической энергии, условия равновесия твердого тела; связь давления идеального газа со средней кинетической энергией теплового движения и концентрацией его молекул, связь температуры вещества со средней кинетической энергией его частиц, связь давления идеального газа с концентрацией молекул и его температурой, уравнение Менделеева-Клапейрона, первый закон

термодинамики, закон сохранения энергии в тепловых процессах; закон сохранения электрического заряда, закон Кулона, потенциальность электростатического поля, принцип суперпозиции электрических полей, закона Кулона; законы Ома для участка цепи и для замкнутой электрической цепи, закон Джоуля-Ленца, закон электромагнитной индукции, правило Ленца, постулаты специальной теории относительности Эйнштейна, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, первый и второй постулаты Бора, принцип неопределенности Гейзенберга, закон сохранения заряда, массового числа и энергии в ядерных реакциях, закон радиоактивного распада;

6) сформированность умений применять основополагающие астрономические понятия, теории и законы для анализа и объяснения физических процессов происходящих на звездах, в звездных системах, в межгалактической среде; движения небесных тел, эволюции звезд и Вселенной;

7) сформированность умений исследовать и анализировать разнообразные физические явления и свойства объектов, проводить самостоятельные исследования в реальных и лабораторных условиях, читать и анализировать характеристики приборов и устройств, объяснять принципы их работы;

8) сформированность представлений о методах получения научных астрономических знаний; владение умениями самостоятельно формулировать цель исследования (проекта), выдвигать гипотезы на основе знания основополагающих физических закономерностей и законов, проверять их экспериментальными средствами; планировать и проводить физические эксперименты, описывать и анализировать полученную при выполнении эксперимента информацию, определять достоверность полученного результата;

9) сформированность умения решать расчетные задачи с явно заданной и неявно заданной физической моделью: на основании анализа условия выбирать физические модели, отвечающие требованиям задачи, применять формулы, законы, закономерности и постулаты физических теорий при использовании математических методов решения задач, проводить расчеты на основании имеющихся данных, анализировать результаты и корректировать методы решения с учетом полученных

результатов; решать качественные задачи, требующие применения знаний из разных разделов школьного курса физики, а также интеграции знаний из других предметов естественнонаучного цикла: выстраивать логическую цепочку рассуждений с опорой на изученные законы, закономерности и физические явления;

10) сформированность умений анализировать и оценивать последствия бытовой и производственной деятельности человека, связанной с физическими процессами, с позиций экологической безопасности; представлений о рациональном природопользовании, а также разумном использовании достижений науки и технологий для дальнейшего развития человеческого общества;

11) овладение различными способами работы с информацией физического содержания с использованием современных информационных технологий, развитие умений критического анализа и оценки достоверности получаемой информации;

12) овладение организационными и познавательными умениями самостоятельного приобретения новых знаний в процессе выполнения проектных и учебно-исследовательских работ, умениями работать в группе с выполнением различных социальных ролей, планировать работу группы, рационально распределять деятельность в нестандартных ситуациях, адекватно оценивать вклад каждого из участников группы в решение рассматриваемой проблемы;

13) сформированность мотивации к будущей профессиональной деятельности по специальностям физико-технического профиля.

Выпускник, освоивший ППКРС, должен обладать общими компетенциями, включающими в себя способность:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, исходя из цели и способов ее достижения, определенных руководителем.

ОК 3. Анализировать рабочую ситуацию, осуществлять текущий и итоговый контроль, оценку и

коррекцию собственной деятельности, нести ответственность за результаты своей работы.

ОК 4. Осуществлять поиск информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Физика — фундаментальная наука о природе.

Естественнонаучный метод познания, его возможности и границы применимости. Эксперимент и теория в процессе познания природы. Моделирование физических явлений и процессов. Роль эксперимента и теории в процессе познания природы. Физическая величина. Погрешности измерений физических величин. Физические законы. Границы применимости физических законов. Понятие о физической картине мира. Значение физики при освоении профессий ППКРС.

## 1. Механика

**Кинематика.** Механическое движение. Перемещение. Путь. Скорость. Равномерное прямолинейное движение. Ускорение. Равнопеременное прямолинейное движение. Свободное падение. Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Равномерное движение по окружности.

### **Законы механики Ньютона.**

Объяснение демонстрационных экспериментов, подтверждающих закон инерции. Измерение массы тела. Измерение значения взаимодействия тела. Вычисление значения сил по известным значениям масс взаимодействующих тел и их ускорений. Вычисление значения ускорений тел по известным значениям действующих сил и масс тел. Сравнение силы действия и противодействия. Применение закона всемирного тяготения при расчетах сил и ускорений взаимодействующих тел. Сравнение ускорения свободного падения на планетах Солнечной системы. Выделение в тексте учебника основных категорий научной информации.

Первый закон Ньютона. Сила. Масса. Импульс. Второй закон Ньютона. Основной закон классической динамики. Третий закон Ньютона.

Закон всемирного тяготения. Гравитационное поле. Сила тяжести. Вес. Способы измерения массы тел. Силы в механике.

**Законы сохранения в механике.** Закон сохранения импульса. Реактивное движение. Работа силы. Работа потенциальных сил. Мощность. Энергия. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Закон сохранения механической энергии. Применение законов сохранения.

### **Демонстрации**

Зависимость траектории от выбора системы отсчета.

Виды механического движения.

Зависимость ускорения тела от его массы и силы, действующей на тело.

Сложение сил.

Равенство и противоположность направления сил действия и противодействия.

Зависимость силы упругости от деформации.

Силы трения.

Невесомость.

Реактивное движение.

Переход потенциальной энергии в кинетическую и обратно.

### **Лабораторные работы**

Исследование движения тела под действием постоянной силы.

Изучение закона сохранения импульса.

Сохранение механической энергии при движении тела под действием сил тяжести и упругости.

Сравнение работы силы с изменением кинетической энергии тела.

Изучение законов сохранения на примере удара шаров и баллистического маятника.

Изучение особенностей силы трения (скольжения).

## 2. Основы молекулярной физики и термодинамики

**Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ.** Основные положения молекулярно-кинетической теории. Размеры и масса молекул и атомов. Броуновское

движение. Диффузия. Силы и энергия межмолекулярного взаимодействия. Строение газообразных, жидких и твердых тел. Скорости движения молекул и их измерение. Идеальный газ. Давление газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Температура и ее измерение. Газовые законы. Абсолютный нуль температуры. Термодинамическая шкала температуры. Уравнение состояния идеального газа. Молярная газовая постоянная.

**Основы термодинамики.** Основные понятия и определения. Внутренняя энергия системы. Внутренняя энергия идеального газа. Работа и теплота как формы передачи энергии. Теплоемкость. Удельная теплоемкость. Уравнение теплового баланса. Первое начало термодинамики. Адиабатный процесс. Принцип действия тепловой машины. КПД теплового двигателя. Второе начало термодинамики. Термодинамическая шкала температур. Холодильные машины. Тепловые двигатели. Охрана природы.

**Свойства паров.** Испарение и конденсация. Насыщенный пар и его свойства. Абсолютная и относительная влажность воздуха. Точка росы. Кипение. Зависимость температуры кипения от давления. Перегретый пар и его использование в технике.

**Свойства жидкостей.** Характеристика жидкого состояния вещества. Поверхностный слой жидкости. Энергия поверхностного слоя. Явления на границе жидкости с твердым телом. Капиллярные явления.

**Свойства твердых тел.** Характеристика твердого состояния вещества. Упругие свойства твердых тел. Закон Гука. Механические свойства твердых тел. Тепловое расширение твердых тел и жидкостей. Плавление и кристаллизация.

### ***Демонстрации***

Движение броуновских частиц.

Диффузия.

Изменение давления газа с изменением температуры при постоянном объеме.

Изотермический и изобарный процессы.

Изменение внутренней энергии тел при совершении работы.

Модели тепловых двигателей.

Кипение воды при пониженном давлении.

Психрометр и гигрометр.

Явления поверхностного натяжения и смачивания.

Кристаллы, аморфные вещества, жидкокристаллические тела.

### ***Лабораторные работы***

Измерение влажности воздуха.

Измерение поверхностного натяжения жидкости.

Наблюдение процесса кристаллизации. Изучение деформации растяжения.

Изучение теплового расширения твердых тел.

Изучение особенностей теплового расширения воды.

## 3. Электродинамика

**Электрическое поле.** Электрические заряды. Закон сохранения заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции полей. Работа сил электростатического поля. Потенциал. Разность потенциалов. Эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и разностью потенциалов электрического поля. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Проводники в электрическом поле. Конденсаторы. Соединение конденсаторов в батарею. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля.

**Законы постоянного тока.** Условия, необходимые для возникновения и поддержания электрического тока. Сила тока и плотность тока. Закон Ома для участка цепи без ЭДС. Зависимость электрического сопротивления от материала, длины и площади поперечного сечения проводника. Зависимость электрического сопротивления

проводников от температуры. Электродвижущая сила источника тока. Закон Ома для полной цепи. Соединение проводников. Соединение источников электрической энергии в батарею. Закон Джоуля—Ленца. Работа и мощность электрического тока. Тепловое действие тока.

**Электрический ток в различных средах** Электрический ток в металлах. Электронный газ. Работа выхода. Электрический ток в электролитах. Электролиз. Законы Фарадея. Применение электролиза в технике. Электрический ток в газах и вакууме. Ионизация газа. Виды газовых разрядов. Понятие о плазме. Свойства и применение электронных пучков. Электрический ток в полупроводниках. Собственная проводимость полупроводников. Полупроводниковые приборы. Объяснение природы электрического тока в металлах, электролитах, газах, вакууме и полупроводниках. Применение электролиза в технике. Проведение сравнительного и самостоятельно газовых разрядов.

**Электрический ток в полупроводниках.** Собственная проводимость полупроводников. Полупроводниковые приборы.

**Магнитное поле.** Вектор индукции магнитного поля. Действие магнитного поля на прямолинейный проводник с током. Закон Ампера. Взаимодействие токов. Магнитный поток. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Определение удельного заряда. Ускорители заряженных частиц.

**Электромагнитная индукция.** Электромагнитная индукция. Вихревое электрическое поле. Самоиндукция. Энергия магнитного поля.

### ***Демонстрации***

Взаимодействие заряженных тел.

Проводники в электрическом поле.

Диэлектрики в электрическом поле.

Конденсаторы.

Тепловое действие электрического тока.

Собственная и примесная проводимость полупроводников.

Полупроводниковый диод.

Транзистор.

Опыт Эрстеда.

Взаимодействие проводников с токами.

Отклонение электронного пучка магнитным полем.

Электродвигатель.

Электроизмерительные приборы.

Электромагнитная индукция.

Опыты Фарадея.

Зависимость ЭДС самоиндукции от скорости изменения силы тока и индуктивности проводника.

Работа электрогенератора.

Трансформатор.

### ***Лабораторные работы***

***Изучение закона Ома для участка цепи, последовательного и параллельного соединения проводников.***

***Изучение закона Ома для полной цепи.***

***Изучение явления электромагнитной индукции.***

***Определение коэффициента полезного действия электрического чайника.***



*Определение температуры нити лампы накаливания.*

*Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника напряжения.*

#### **4. Колебания и волны**

*Механические колебания. Колебательное движение. Гармонические колебания.*

*Свободные механические колебания. Линейные механические колебательные системы. Превращение энергии при колебательном движении. Свободные затухающие механические колебания. Вынужденные механические колебания.*

*Упругие волны. Поперечные и продольные волны. Характеристики волны. Уравнение плоской бегущей волны. Интерференция волн. Понятие о дифракции волн.*

*Звуковые волны. Ультразвук и его применение.*

*Электромагнитные колебания. Свободные электромагнитные колебания.*

*Превращение энергии в колебательном контуре. Затухающие электромагнитные колебания. Генератор незатухающих электромагнитных колебаний. Вынужденные электрические колебания. Переменный ток. Генератор переменного тока. Емкостное и индуктивное сопротивления переменного тока. Закон Ома для электрической цепи переменного тока. Работа и мощность переменного тока. Генераторы тока. Трансформаторы. Токи высокой частоты. Получение, передача и распределение электроэнергии.*

*Электромагнитные волны. Электромагнитное поле как особый вид материи.*

*Электромагнитные волны. Вибратор Герца. Открытый колебательный контур.*

*Изобретение радио А. С. Поповым. Понятие о радиосвязи. Применение электромагнитных волн.*

*Демонстрации*

*Свободные и вынужденные механические колебания.*

*Резонанс.*

*Образование и распространение упругих волн.*

*Частота колебаний и высота тона звука.*

*Свободные электромагнитные колебания.*

*Осциллограмма переменного тока.*

*Конденсатор в цепи переменного тока.*

*Катушка индуктивности в цепи переменного тока.*

*Резонанс в последовательной цепи переменного тока.*

*Излучение и прием электромагнитных волн.*

*Радиосвязь.*

*Лабораторные работы*

*Изучение зависимости периода колебаний нитяного (или пружинного) маятника от длины нити (или массы груза).*

*Индуктивные и емкостное сопротивления в цепи переменного тока*

#### **5. Оптика**

*Природа света. Скорость распространения света. Законы отражения и преломления света. Полное отражение. Линзы. Глаз как оптическая система. Оптические приборы.*

*Волновые свойства света. Интерференция света. Когерентность световых лучей.*

*Интерференция в тонких пленках. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона.*

*Использование интерференции в науке и технике. Дифракция света. Дифракция на щели в параллельных лучах. Дифракционная решетка. Понятие о голографии.*

*Поляризация поперечных волн. Поляризация света. Двойное лучепреломление.*

*Поляроиды. Дисперсия света. Виды спектров. Спектры испускания. Спектры поглощения.*

*Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Рентгеновские лучи. Их природа и свойства.*

*Демонстрации*

*Законы отражения и преломления света.*

*Полное внутреннее отражение.*

*Оптические приборы.*

*Интерференция света.*

*Дифракция света.*

*Поляризация света.*

*Получение спектра с помощью призмы.*

*Получение спектра с помощью дифракционной решетки.*

*Спектроскоп.*

*Лабораторные работы*

*Изучение изображения предметов в тонкой линзе.*

*Изучение интерференции и дифракции света.*

*Градуировка спектроскопа и определение длины волны спектральных линий.*

**6. Основы специальной теории относительности** Инвариантность модуля скорости света в вакууме. Постулаты Эйнштейна. Пространство и время специальной теории относительности. Связь массы и энергии свободной частицы. Энергия покоя. Объяснение значимости опыта Майкельсона-Морли. Формулирование постулатов. Объяснение эффекта замедления времени. Расчет энергии покоя, импульса, энергии свободной частицы. Выработка навыков воспринимать, анализировать, перерабатывать и предъявлять информацию в соответствии с поставленными задачами.

**7. Элементы квантовой физики.**

**Квантовая оптика.** Тепловое излучение. Объяснить законы Столетова и давление света на основе квантовых представлений. Распределение энергии в спектре абсолютно чёрного тела. Квантовая гипотеза Планка. Фотоны. Внешний фотоэлектрический эффект. Внутренний фотоэффект. Типы фотоэлементов. Давление света. Понятие о корпускулярно-волновой природе света.

**Физика атома.** Развитие взглядов на строение вещества. Закономерности в атомных спектрах водорода. Ядерная модель атома. опыты Э. Резерфорда. Модель атома водорода по Н. Бору. Гипотеза де Бройля. Соотношение неопределённостей Гейзенберга. Квантовые генераторы. Вычисление длины волны де Бройля частицы с известным значением импульса.

**Физика атомного ядра.** Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Способы наблюдения и регистрации заряженных частиц. Эффект Вавилова — Черенкова. Строение атомного ядра. Дефект массы, энергия связи и устойчивость атомных ядер. Ядерные реакции. Искусственная радиоактивность. Деление тяжелых ядер. Цепная ядерная реакция. Управляемая цепная реакция. Ядерный реактор. Получение радиоактивных изотопов и их применение. Биологическое действие радиоактивных излучений. Элементарные частицы. Представление о характере четырёх типов фундаментальных взаимодействий элементарных частиц в виде таблицы.

*Демонстрации*

*Фотоэффект.*

*Линейчатые спектры различных веществ.*

*Излучение лазера (квантового генератора).*

*Счетчик ионизирующих излучений.*

*Самостоятельная работа:*

Темы рефератов (докладов), индивидуальных проектов

1. Александр Григорьевич Столетов — русский физик.
2. Александр Степанович Попов — русский ученый, изобретатель радио.
3. Альтернативная энергетика.
4. Акустические свойства полупроводников.
5. Андре Мари Ампер — основоположник электродинамики.
6. Асинхронный двигатель.
7. Астероиды.
8. Астрономия наших дней.
9. Атомная физика. Изотопы. Применение радиоактивных изотопов.
10. Бесконтактные методы контроля температуры.
11. Биполярные транзисторы.
12. Борис Семенович Якоби — физик и изобретатель.
13. *Величайшие открытия физики.*
14. *Виды электрических разрядов. Электрические разряды на службе человека.*
15. *Влияние дефектов на физические свойства кристаллов.*
16. *Влияние электромагнитных волн на человека.*
17. *Вселенная и темная материя.*
18. *Галилео Галилей — основатель точного естествознания.*
19. *Голография и ее применение.*
20. *Деформация в повседневной жизни.*
21. *Движение тела переменной массы.*
22. *Дифракция в нашей жизни.*
23. *Дисперсия света в нашей жизни*
24. *Жидкие кристаллы.*
25. *Законы Кирхгофа для электрической цепи.*
26. *Законы сохранения в механике.*
27. *Значение открытий Галилея.*
28. *Игорь Васильевич Курчатов — физик, организатор атомной науки и техники.*
29. *Исаак Ньютон — создатель классической физики.*
30. *Использование электроэнергии в транспорте.*
31. *Альберт Эйнштейн.*
32. *Интерференция*
33. *Классификация и характеристики элементарных частиц.*
34. *Конструкционная прочность материала и ее связь со структурой.*
35. *Конструкция и виды лазеров.*
36. *Криоэлектроника (микроэлектроника и холод).*
37. *Кристаллы.*
38. *Лазерные технологии и их использование.*
39. *Леонардо да Винчи — ученый и изобретатель.*
40. *Магнитные измерения (принципы построения приборов, способы измерения магнитного потока, магнитной индукции).*
41. *Майкл Фарадей — создатель учения об электромагнитном поле.*
42. *Макс Планк.*
43. *Метод меченых атомов.*
44. *Методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений и частиц.*
45. *Методы определения плотности.*
46. *Михаил Васильевич Ломоносов — ученый энциклопедист.*
47. *Модели атома. Опыт Резерфорда.*
48. *Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов.*
49. *Молния — газовый разряд в природных условиях.*

50. *Нанотехнология — междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники.*
51. *Никола Тесла: жизнь и необычайные открытия.*
52. *Николай Коперник — создатель гелиоцентрической системы мира.*
53. *Нильс Бор — один из создателей современной физики.*
54. *Нуклеосинтез во Вселенной.*
55. *Объяснение фотосинтеза с точки зрения физики.*
56. *Оптические явления в природе.*
57. *Открытие и применение высокотемпературной сверхпроводимости.*
58. *Переменный электрический ток и его применение.*
59. *Первый космический спутник*
60. *Плазма — четвертое состояние вещества.*
61. *Планеты Солнечной системы.*
62. *Полупроводниковые датчики температуры.*
63. *Применение жидких кристаллов в промышленности.*
64. *Применение ядерных реакторов.*
65. *Природа ферромагнетизма.*
66. *Проблемы экологии, связанные с использованием тепловых машин.*
67. *Производство, передача и использование электроэнергии.*
68. *Происхождение Солнечной системы.*
69. *Пьезоэлектрический эффект его применение.*
70. *Развитие средств связи и радио.*
71. *Реактивные двигатели и основы работы тепловой машины.*
72. *Реликтовое излучение.*
73. *Рентгеновские лучи. История открытия. Применение.*
74. *Рождение и эволюция звезд.*
75. *Роль К.Э.Циолковского в развитии космонавтики.*
76. *Свет — электромагнитная волна.*
77. *Сергей Павлович Королев — конструктор и организатор производства ракетно-космической техники.*
78. *Первый человек в космосе.*
79. *Новые технологии в космосе.*
80. *Илон Маск.*
81. *Первое радио.*
82. *Силы трения.*
83. *Современная спутниковая связь.*
84. *Современная физическая картина мира.*
85. *Современные средства связи.*
86. *Солнце — источник жизни на Земле.*
87. *Трансформаторы.*
88. *Ультразвук (получение, свойства, применение).*
89. *Управляемый термоядерный синтез.*
90. *Ускорители заряженных частиц.*
91. *Физика и музыка.*
92. *Физические свойства атмосферы.*
93. *Фотоэлементы.*
94. *Фотоэффект. Применение явления фотоэффекта.*
95. *Ханс Кристиан Эрстед — основоположник электромагнетизма.*
96. *Черные дыры.*
97. *Шкала электромагнитных волн.*
98. *Электричество в жизни человека.*
99. *Экологические проблемы и возможные пути их решения.*

- 100. Электронная проводимость металлов. Сверхпроводимость.*
- 101. Эмилий Христианович Ленц — русский физик.*
- 102. Ядерная реакция.*
- 103. Основы МКТ.*
- 104. Состояния вещества.*
- 105. Изопроцессы.*
- 106. Как спасти человечество от воздействия радиации?*
- 107. Чернобыль.*
- 108. Атомный реактор.*
- 109. БАК – большой адронный коллайдер.*
- 110. Вред гаджетов на организм человека.*

## ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

### 2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 2.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Объем часов</b>
<b>Максимальная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>186</b>
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>186</b>
в том числе:	
лабораторные занятия	<i>15</i>
практические занятия	<i>93</i>
контрольные работы	<i>9</i>
<b>Самостоятельная работа обучающегося (всего)</b>	<b>93</b>
в том числе:	
<i>реферат, домашняя работа</i>	<i>90</i>
<i>Итоговая аттестация в форме экзамена</i>	

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, самостоятельная работа обучающихся	Объем часов	Характеристика основных видов деятельности студентов (на уровне учебных действий)
1	2	3	4
<p>Введение. 2ч.</p> <p>ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21</p>	<p>Физика — фундаментальная наука о природе.</p> <p>Естественнонаучный метод познания, его возможности и границы применимости. Эксперимент и теория в процессе познания природы. Моделирование физических явлений и процессов. Роль эксперимента и теории в процессе познания природы.</p> <p>Физическая величина. Погрешности измерений физических величин. Физические законы. Границы применимости физических законов. Понятие о физической картине мира. Значение физики при освоении специальностей СПО.</p>	2	<p>Развитие способности ясно и точно излагать свои мысли, логически обосновывать свою точку зрения, воспринимать и анализировать мнения собеседников, признавая право другого человека на иное мнение.</p> <p>Произведение измерения физических величин и оценка границы погрешностей измерений.</p> <p>Умение высказывать гипотезы для объяснения наблюдаемых явлений.</p> <p>Указание границ применимости физических законов.</p> <p>Изложение основных положений современной научной картины мира.</p> <p>Приведение примеров влияния открытий в физике на прогресс в технике и технологии производства.</p> <p>Использование Интернета для поиска информации</p>
<b>Раздел 1. Механика</b>		<b>18</b>	
<p>Тема 1.1. Кинематика.</p> <p>ЛР13, ЛР14, ЛР17-</p>	<p>Содержание учебного материала</p> <p>Механическое движение. Перемещение.</p>	6	<p>Представление механического движения тела уравнениями зависимости координат и проекцией скорости от времени, и</p>

ЛР21	Путь. Скорость. Равномерное прямолинейное движение. Ускорение. Равнопеременное прямолинейное движение. Свободное падение. Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Равномерное движение по окружности.		<p>графиками зависимости координат, и проекцией скорости от времени. Определение координат пройденного пути, скорости и ускорения тела по графикам зависимости координат и проекций скорости от времени.</p> <p>Проведение сравнительного анализа равномерного и равнопеременного движений.</p> <p>Указание использования поступательного и вращательного движений в технике.</p>
	<b>Практические занятия</b>	2	<p>Приобретение опыта работы в группе с выполнением различных социальных ролей.</p>
	«Решение задач по кинематике»		
	<b>Самостоятельная работа</b>		1
Работа с учебной литературой и сборником задач			
Контрольная работа №1			
Тема 1.2.Законы механики Ньютона. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	<b>8</b>	<p>Понимание смысла таких физических моделей, как материальная точка, инерциальная система отсчета.</p> <p>Измерение массы тела различными способами. Измерение сил взаимодействия тел. Вычисление значения ускорения тел по известным значениям действующих сил и масс тел.</p> <p>Умение различать силу тяжести и вес тела. Объяснение и приведение примеров явления невесомости.</p>
	Первый закон Ньютона. Сила. Масса. Импульс. Второй закон Ньютона. Основной закон классической динамики. Третий закон Ньютона. Закон всемирного тяготения. Гравитационное поле. Сила тяжести. Вес. Силы в механике.		
	<b>Лабораторная работа</b>	2	<p>Применение основных понятий, формул и законов динамики к решению задач</p>
	«Изучение особенностей силы трения»		



	(скольжения)»		
	<b>Самостоятельная работа</b>	2	
	Работа с учебной литературой и сборником задач. Написание конспекта по теме: «Способы измерения массы тел»	1	
	Контрольная работа №2		
Тема 1.3. Законы сохранения в механике. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	<b>4</b>	<p>Применение закона сохранения импульса для вычисления изменений скоростей тел при их взаимодействиях. Измерение работы сил и изменение кинетической энергии тела.</p> <p>Вычисление работы сил и изменения кинетической энергии тела. Вычисление потенциальной энергии тел в гравитационном поле. Определение потенциальной энергии упруго деформированного тела по известной деформации и жесткости тела. Применение закона сохранения механической энергии при расчетах результатов взаимодействий тел гравитационными силами и силами упругости.</p> <p>Указание границ применимости законов механики. Указание учебных дисциплин, при изучении которых используются законы сохранения.</p>
	Определение импульса силы и импульса тела. Изучение закона сохранения импульса. Определение работы, мощности, механической энергии. Изучение закона сохранения энергии.		
	<b>Практические занятия</b>	2	
	«Решение задач по законам механики Ньютона и законам сохранения в механике»		
	Лабораторная работа №2 «Изучение сохранения закона импульса»		
Лабораторная работа №2. Законы сохранения импульса	1		
<b>Самостоятельная работа</b>	2		

	<p>Работа с учебной литературой и сборником задач. Написание конспекта по теме: «Реактивное движение»</p> <p>Работа над рефератами по темам: «Законы сохранения в механике», «Исаак Ньютон - создатель классической физики»</p>		
	<p>Работа с учебной литературой и сборником задач.</p>		
<b>Раздел 2.</b> <b>Молекулярная физика.</b> <b>Термодинамика.</b>		<b>26</b>	
Тема 2.1. Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	<p>Изучение основных положений МКТ, их опытное обоснование. Объяснение свойств газообразного состояния вещества на основе МКТ. Измерение</p>	<b>8</b>	Решение задач с применением основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов. Определение параметров вещества в газообразном состоянии на основании уравнения состояния идеального газа.

	<p>скорости движения молекул в газе. Определение идеального газа. Изучение основного уравнения МКТ газов. Изучение термодинамической шкалы температур. Определение абсолютной температуры как меры средней кинетической энергии частиц. Изучение уравнения состояния идеального газа, изопроцессов.</p>		<p>Определение параметров вещества в газообразном состоянии и происходящих процессов по графикам зависимости <math>p(T)</math>, <math>V(T)</math>, <math>p(V)</math>. Экспериментальное исследование зависимости <math>p(T)</math>, <math>V(T)</math>, <math>p(V)</math>.</p> <p>Представление в виде графиков изохорного, изобарного и изотермического процессов.</p>
	<p><b>Лабораторные работы.</b></p>	2	<p>Вычисление средней кинетической энергии теплового движения молекул по известной температуре вещества. Высказывание гипотез для объяснения наблюдаемых явлений.</p> <p>Указание границ применимости модели «идеальный газ» и законов МКТ</p>
	<p>«Исследование зависимости давления от объема при постоянной температуре»</p>		
	<p><b>Самостоятельная работа</b></p> <p>Работа с учебной литературой, сборником задач .Написание конспекта по темам: «Исследование размеров и масс молекул», «Силы и энергия межмолекулярного взаимодействия», «Вакуум» Работа над рефератом по теме: «Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов», «Бесконтактные методы контроля температуры»</p>		
<p>Практические занятия</p> <p>Решение задач</p>	4		
<p>Тема 2.2. Основы термодинамики. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21</p>	<p>Содержание учебного материала</p> <p>Основные понятия и определения. Внутренняя энергия системы. Внутренняя энергия идеального газа. Работа и теплота как формы передачи энергии. Удельная теплоемкость.</p>	10	<p>Расчет количества теплоты, необходимого для осуществления заданного процесса с теплопередачей. Расчет изменения внутренней энергии тел, работы и переданного количества теплоты с использованием первого закона</p>

	Уравнение теплового баланса. Первое начало термодинамики. Адиабатный процесс. Принцип действия тепловой машины. КПД теплового двигателя. Второе начало термодинамики. Термодинамическая шкала температур		термодинамики. Расчет работы, совершенной газом, по графику зависимости $p(V)$ . Вычисление КПД при совершении газом работы в процессах изменения состояния по замкнутому циклу. Объяснение принципов действия тепловых машин. Изложение сути экологических проблем, обусловленных работой тепловых двигателей и предложение пути их решения. Умение вести диалог, выслушивать мнение оппонента, участвовать в дискуссии, открыто выражать и отстаивать свою точку зрения. Указание учебных дисциплин, при изучении которых используют учебный материал «Основы термодинамики»
	<b>Лабораторные работы №3</b>	2	
	«Определение удельной теплоты плавления поваренной соли»		
	<b>Практические занятия</b>	4	
	«Решение задач по молекулярной физике и основам термодинамики»		
	<b>Самостоятельная работа</b>	4	
	Работа с учебной литературой, сборником задач. Написание конспекта по темам: «Холодильные машины», «Тепловые двигатели и охрана природы» Работа над рефератом по теме: «Проблемы экологии, связанные с использованием тепловых машин», «Роль тепловых двигателей в народном хозяйстве»		
	Контрольная работа №3	1	
Тема 2.3. Свойства паров, жидкостей и твердых тел ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	8	Измерение влажности воздуха. Расчет количества теплоты, необходимого для осуществления процесса перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое.
	Испарение и конденсация. Насыщенный пар и его свойства. Абсолютная и относительная влажность воздуха. Точка росы. Характеристика твердого состояния вещества.		

	Упругие свойства твердых тел. Закон Гука. Механические свойства твердых тел. Тепловое расширение твердых тел и жидкостей. Плавление и кристаллизация.		Приведение примеров капиллярных явлений в быту, природе, технике. Исследование механических свойств твердых тел. Применение физических понятий и законов в учебном материале профессионального характера.
	<b>Лабораторные работы.</b>	2	Использование Интернета для поиска информации о разработках и применениях современных твердых и аморфных материалов
	«Исследование свойств жидкого состояния и измерение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва капель»		
	<b>Самостоятельная работа</b>	2	
	Работа с учебной литературой, сборником задач. Написание конспекта по темам: «Кипение. Зависимость температуры кипения от давления» «Перегретый пар и его использование в технике», «Явления на границе жидкости с твердым телом. Капиллярные явления» Работа над рефератом по теме: «Влияние дефектов на физические свойства кристаллов», «Жидкие кристаллы и их применение промышленности», «Физические свойства атмосферы»		
<b>Раздел 3. Электродинамика.</b>		<b>43</b>	
Тема 3.1. Электрическое поле. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала Электрические заряды. Закон сохранения заряда.	<b>10</b>	Вычисление сил взаимодействия точечных электрических зарядов. Вычисление напряженности электрического поля одного и

	<p>Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции полей. Работа сил электростатического поля. Потенциал. Разность потенциалов. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Проводники в электрическом поле. Конденсаторы. Соединение конденсаторов в батарею. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля.</p>		<p>нескольких точечных электрических зарядов. Вычисление потенциала электрического поля одного и нескольких точечных электрических зарядов. Измерение разности потенциалов.</p> <p>Вычисление энергии электрического поля заряженного конденсатора.</p> <p>Проведение сравнительного анализа гравитационного и электростатического пол</p>
	<b>Практические занятия</b>	2	
	Решение задач по теме «Электрическое поле»		
	<b>Самостоятельная работа</b>	1	
	Работа с учебной литературой, сборником задач. Написание конспекта по темам: «Эквипотенциальные поверхности», «Связь между напряженностью и разностью потенциалов электрического поля» Работа над рефератом по теме: «Электризация тел и её применение в быту на производстве» «Пьезоэлектрический эффект его применение»		
	Контрольная работа №4	1	
Тема 3.2. Законы постоянного тока.	Содержание учебного материала	<b>17</b>	Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления

ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Условия, необходимые для возникновения и поддержания электрического тока. Сила тока и плотность тока. Закон Ома для участка цепи без ЭДС. Зависимость электрического сопротивления от материала, длины и площади поперечного сечения проводника. Зависимость электрического сопротивления проводников от температуры. Электродвижущая сила источника тока. Закон Ома для полной цепи. Закон Джоуля-Ленца. Работа и мощность электрического тока. Тепловое действие тока.		источника тока. Выполнение расчетов силы тока и напряжений на участках электрических цепей. Объяснение на примере электрической цепи с двумя источниками тока (ЭДС), в каком случае источник электрической энергии работает в режиме генератора, а в каком — в режиме потребителя.  Определение температуры нити накаливания.  Исследовать особенности последовательного и параллельного соединения потребителей.
	<b>Практические занятия</b>	2	
	Решение задач по теме «Законы постоянного тока»		
	<b>Лабораторные работы</b>	8	
	«Определение удельного сопротивления проводника»		
	«Исследование особенностей параллельного и последовательного соединения резисторов»		
	«Определение ЭДС внутреннего сопротивления источника электрической энергии»		
	«Определение зависимости мощности лампы накаливания от напряжения и определение температуры нити лампы накаливания»		

	<b>Самостоятельная работа</b>		
	Работа с учебной литературой и сборником задач. Написание конспекта по теме: «Особенности параллельного и последовательного проводников», «Соединение источников электрической энергии в батарею « Написание рефератов по темам: «Явление сверхпроводимости», «Применение теплового действия тока в различных технических устройствах»		
	Практические занятия. Решения задач	2	
	Контрольная работа №5	1	
Тема 3.3. Электрический ток в полупроводниках 5ч. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	<b>4</b>	Снятие вольтамперной характеристики диода.  Проведение сравнительного анализа полупроводниковых диодов и триодов.  Использование Интернета для поиска информации о перспективах развития полупроводниковой техники. Установка причинно-следственных связей
	Собственная проводимость полупроводников. Полупроводниковые приборы.		
	<b>Лабораторные работы</b>	2	
	«Изучение электрических свойств полупроводников»		
	<b>Самостоятельная работа</b>	2ч.	
	Работа с учебной литературой, написание конспекта по теме: «Полупроводниковые приборы, их применение», «Полупроводниковые датчики температуры»,		



	«Виды электрических разрядов. Электрические разряды на службе человека», «Биполярные транзистор», «Акустические свойства полупроводников»		
Тема 3.4. Магнитное поле. 5ч. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	5	Измерение индукции магнитного поля. Вычисление сил, действующих на проводник с током в магнитном поле. Вычисление сил, действующих на электрический заряд, движущийся в магнитном поле. Объяснение роли магнитного поля Земли в жизни растений, животных, человека.  Объяснение на примере магнитных явлений, почему физику можно рассматривать как метадисциплину
	Вектор индукции магнитного поля. Действие магнитного поля на прямолинейный проводник с током. Закон Ампера. Взаимодействие токов. Магнитный поток. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.		
	<b>Самостоятельная работа</b>  Работа с учебной литературой, составление таблицы: «Классификация веществ по их магнитным свойствам», конспект по теме «Определение удельного заряда. Ускорители заряженных частиц  Написание рефератов по темам: «Природа ферромагнетизма», « Магнитные измерения (принципы построения приборов), способы измерения магнитного потока, магнитной индукции»		
Тема 3.5. Электромагнитная индукция.	Содержание учебного материала	7	Исследование явлений электромагнитной
	Электромагнитная индукция. Вихревое		

ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	электрическое поле. Самоиндукция. Энергия магнитного поля.		индукции, самоиндукции. Вычисление энергии магнитного поля. Объяснение принципа действия электродвигателя. Объяснение принципа действия генератора электрического тока и электроизмерительных приборов. Объяснение принципа действия масс-спектрографа, ускорителей заряженных частиц. Приведение примеров практического применения изученных явлений, законов, приборов, устройств.  Проведение сравнительного анализа свойств электростатического, магнитного и вихревого электрических полей.
	<b>Лабораторные работы</b>	2	
	«Изучение явления электромагнитной индукции»		
	<b>Практические занятия</b>	2	
	Решение задач по теме «Магнитное поле и электромагнитная индукция»		
	<b>Самостоятельная работа</b>		
	Работа с учебной литературой и сборником задач, подготовка сообщения по теме: «Применение явления электромагнитной индукции»		
<b>Раздел 4. Колебания и волны</b>		<b>24</b>	
Тема 4.1. Механические колебания ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Колебательное движение. Гармонические колебания. Свободные механические колебания. Линейные механические колебательные системы. Превращение энергии при колебательном движении. Свободные затухающие  механические колебания. Вынужденные	<b>9</b>	Исследование зависимости периода колебаний математического маятника от его длины, массы и амплитуды колебаний.  Вычисление периода колебаний математического маятника по известному значению его длины. Вычисление периода колебаний груза на пружине по известным значениям его массы и жесткости пружины.

	механические колебания.		Выработка навыков воспринимать, анализировать, перерабатывать и предъявлять информацию в соответствии с поставленными задачами. Приведение примеров автоколебательных механических систем. Проведение классификации колебаний
	<b>Лабораторные работы</b>		
	«Определение ускорения свободного падения при помощи математического маятника»	1	
	<b>Самостоятельная работа</b> Работа с учебной литературой и сборником задач.		
	<b>Контрольная работа №6</b>		
Тема 4.2. Упругие волны 5ч. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	«Определение ускорения свободного падения при помощи математического маятника»	3	Наблюдение и объяснение явлений интерференции и дифракции механических волн.
	<b>Самостоятельная работа</b> Работа с учебной литературой и сборником задач.	2	Представление областей применения ультразвука и перспективы его использования в различных областях науки, техники, в медицине.
			Изложение сути экологических проблем, связанных с воздействием звуковых волн на организм человека

<p>Тема 4.3. Электромагнитные колебания 13ч.</p> <p>ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21</p>	<p>Содержание учебного материала</p>	9	<p>Наблюдение осциллограмм гармонических колебаний силы тока в цепи.</p> <p>Проведение аналогии между физическими величинами, характеризующими механическую и электромагнитную колебательные системы.</p> <p>Расчет значений силы тока и напряжения на элементах цепи переменного тока.</p> <p>Исследование принципа действия трансформатора. Исследование принципа действия генератора переменного тока.</p>
	<p>Свободные электромагнитные колебания. Превращение энергии в колебательном контуре. Затухающие электромагнитные колебания. Вынужденные электрические колебания. Переменный ток. Емкостное и индуктивное сопротивления переменного тока. Закон Ома для электрической цепи переменного тока. Работа и мощность переменного тока. Трансформатор. Получение, передача и распределение электроэнергии.</p>		
	<p><b>Лабораторные работы</b></p>	2	
	<p>«Индуктивное и емкостное сопротивления в цепи переменного тока»</p>		
	<p><b>Практические занятия</b></p>	2	<p>Использование Интернета для поиска информации о современных способах передачи электроэнергии</p>
	<p>Решение задач по теме «Электромагнитные колебания и волны»</p>		
	<p><b>Самостоятельная работа</b></p>		
	<p>Работа с учебной литературой и сборником задач. Написание конспекта по теме: «Получение, передача и распределение электроэнергии», «Генератор переменного тока», «Генератор незатухающих электромагнитных колебаний» Написание рефератов по темам: «Переменный</p>		

	электрический ток и его применение», «Токи высокой частоты»		
Тема 4.4. Электромагнитные волны 2ч. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	<b>3</b>	Осуществление радиопередачи и радиоприема. Исследование свойств электромагнитных волн с помощью мобильного телефона. Развитие ценностного отношения к изучаемым на уроках физики объектам и осваиваемым видам деятельности. Объяснение принципиального различия природы упругих и электромагнитных волн. Изложение сути экологических проблем, связанных с электромагнитными колебаниями и волнами. Объяснение роли электромагнитных волн в современных исследованиях Вселенной
	Электромагнитное поле как особый вид материи. Электромагнитные волны. Вибратор Герца. Открытый колебательный контур		
	<b>Самостоятельная работа</b> Работа с учебной литературой. Написание конспекта по темам: «Понятие о радиосвязи» Написание рефератов по темам: «Изобретение радио А. С. Поповым», «Применение электромагнитных волн»		
<b>Раздел 5. Оптика</b>		<b>18</b>	
Тема 5.1. Природа света 7ч. ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	<b>7</b>	Применение на практике законов отражения и преломления света при решении задач.  Умение строить изображения предметов, даваемые линзами. Расчет расстояния от линзы до изображения предмета. Расчет оптической силы линзы.
	Скорость распространения света. Законы отражения и преломления света. Полное отражение. Линзы.		
	<b>Лабораторные работы</b> «Определение показателя преломления стекла»	<b>2</b>	
	<b>Самостоятельная работа</b> Написание рефератов по темам: «Глаз как оптическая система»,	<b>2</b>	

	«Оптические приборы»		
Тема 5.2. Волновые свойства света 11ч.  ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	<b>11</b>	Наблюдение явления интерференции, дифракции и поляризации электромагнитных волн.  Измерение длины световой волны по результатам наблюдения явления интерференции. Наблюдение явления дифракции света. Наблюдение явления
	Интерференция света. Когерентность световых лучей. Интерференция в тонких пленках. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона. Поляризация поперечных волн. Поляризация света. Двойное		
	лучепреломление. Поляроиды. Дисперсия света. Виды спектров. Спектры испускания. Спектры поглощения. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Рентгеновские лучи. Их природа и свойства.		поляризации и дисперсии света. Поиск различий и сходства между дифракционным и дисперсионным спектрами. Приведение примеров появления в природе и использования в технике явлений интерференции, дифракции, поляризации и дисперсии света. Перечисление методов познания, которые использованы при изучении указанных явлений
	<b>Лабораторные работы</b>	<b>2</b>	
	«Изучение дифракции. Измерение длины волны с помощью дифракционной решетки»		
	<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1</b>	
	Работа с учебной литературой, составление конспекта на тему: «Использование интерференции в науке и технике», Написание рефератов по темам: «Голография и ее применение», « Современная спутниковая связь» «Оптические явления в природе», « Дифракция в нашей жизни»		

	Контрольная работа №7	<b>1</b>	
<b>Раздел 6. Основы специальной теории относительности</b>		<b>6</b>	
ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	<p>Законы электродинамики и принцип относительности.</p> <p>Постулаты теории относительности.</p> <p>Относительность одновременности.</p> <p>Релятивистская динамика</p>		<p>Объяснение значимости опыта Майкольсона-Морли. Формулирование постулатов.</p> <p>Объяснение эффект замедления времени. Расчет энергии покоя, импульса, энергии свободной частицы. Выработка навыков воспринимать, анализировать, перерабатывать и предъявлять информацию в соответствии с поставленными задачами.</p>
<b>Раздел 7. Элементы квантовой физики</b>		<b>18</b>	
<b>Тема 7.1. Квантовая оптика 4ч.</b>	Содержание учебного материала	<b>4</b>	<p>Наблюдение фотоэлектрического эффекта. Объяснение законов Столетова на основе квантовых представлений. Расчет максимальной кинетической энергии электронов при фотоэлектрическом эффекте. Определение работы выхода электрона по графику зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света. Перечисление приборов установки, в которых применяется безинерционность фотоэффекта. Объяснение корпускулярно-волнового дуализма свойств фотонов. Объяснение роли квантовой оптики в</p>
ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Квантовая гипотеза Планка. Фотоны. Внешний фотоэлектрический эффект.		
	<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2</b>	
	Работа с учебной литературой, составление конспекта на тему: «Внутренний фотоэффект. Типы фотоэлементов»		

			развитии современной физики
<b>Тема 7.2. Физика атома 4ч.</b> ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	4	Наблюдение линейчатых спектров. Расчет частоты и длины волны испускаемого света при переходе атома водорода из одного стационарного состояния в другое. Объяснение происхождения линейчатого спектра атома водорода и различия линейчатых спектров различных газов.
	Развитие взглядов на строение вещества. Закономерности в атомных спектрах водорода. Ядерная модель атома. Опыты Э. Резерфорда. Модель атома водорода по Н. Бору.		
	<b>Самостоятельная работа</b>	1	Наблюдение и объяснение принципа действия лазера. Приведение примеров использования лазера в современной науке и технике.  Вычисление длины волны де Бройля частицы с известным значением импульса.  Использование Интернета для поиска информации о перспективах применения лазера
	Написание рефератов по темам: «Принцип действия и область применения лазеров», «Квантовые генераторы»		
<b>Тема 7.3. Физика атомного ядра 15ч.</b> ЛР13, ЛР14, ЛР17-ЛР21	Содержание учебного материала	10	Расчет энергии связи атомных ядер.  Определение заряда и массового числа атомного ядра, возникающего в результате радиоактивного распада. Вычисление энергии, освобождающейся при радиоактивном распаде. Определение продуктов ядерной реакции. Вычисление энергии, освобождающейся при ядерных реакциях.
	Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Способы наблюдения и регистрации заряженных частиц. Эффект Вавилова—Черенкова. Строение атомного ядра. Дефект массы, энергия связи и устойчивость атомных ядер. Ядерные реакции. Искусственная радиоактивность. Деление тяжелых ядер. Цепная ядерная реакция.		



	Управляемая цепная реакция.		Понимание преимуществ и недостатков использования атомной энергии и ионизирующих излучений в промышленности, медицине.
	<b>Самостоятельная работа</b>	3	Изложение сути экологических проблем, связанных с биологическим действием радиоактивных излучений. Проведение классификации элементарных частиц по их физическим характеристикам (массе, заряду, времени жизни, спину и т. д.).
	Написание рефератов по темам: «Ядерный реактор», «Получение радиоактивных изотопов и их применение», «Биологическое действие радиоактивных излучений», «Элементарные частицы»		
	Контрольная работа №8	1	Понимание ценностей научного познания мира не вообще для человечества в целом, а для каждого обучающегося лично, ценностей овладения методом научного познания для достижения успеха в любом виде практической деятельности
	Наша звездная система — Галактика. Другие галактики. Бесконечность Вселенной. Расширяющаяся Вселенная. Модель горячей Вселенной.		Представление о характере четырёх типов фундаментальных взаимодействий элементарных частиц в виде таблицы.
	<b>Раздел 8. Строение и развитие Вселенной</b>	8	
	Написание рефератов по темам: «Понятие о космологии», «Строение и происхождение Галактик»		
	Энергия Солнца и звезд. Происхождение	2	

	Солнечной системы.		
	<b>Самостоятельная работа</b>		
	Написание рефератов по темам: «Термоядерный синтез. Проблема термоядерной энергетики», «Эволюция звезд»		
<b>Раздел 9. Повторение пройденного материала.</b>		<b>24</b>	
Кинематика		1	
Решение задач		1	
Динамика		1	
Решение задач		1	
Законы сохранения в механике		1	
Решение задач		1	
Основы МКТ		1	
Решение задач по МКТ		1	
Взаимные превращения жидкости и газов		1	
Основы электродинамики		1	
Решение задач		1	
Оптика		1.	
Решение задач		1	

Квантовая физика		1	
Решение задач		1	
Колебания и волны		1	
Решение задач		1	
Магнитные взаимодействия		1	
Решение задач		1	
Электрический ток		1	
Решение задач		1	
Электромагнитные взаимодействия		1	
Решение задач		2	

Итого: 186 часов

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ  
И МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ФИЗИКА»

Освоение программы учебной дисциплины «Физика» предполагает наличие в профессиональной образовательной организации, реализующей образовательную программу среднего общего образования в пределах освоения ОПОП СПО на базе основного общего образования, учебного кабинета, в котором имеется возможность обеспечить свободный доступ в Интернет во время учебного занятия и в период внеучебной деятельности обучающихся.

В состав кабинета физики входит лаборатория с лаборантской комнатой. Помещение кабинета физики должно удовлетворять требованиям Санитарно-эпидемиологических правил и нормативов (СанПиН 2.4.2 № 178-02) и быть оснащено типовым оборудованием, указанным в настоящих требованиях, в том числе специализированной учебной мебелью и средствами обучения, достаточными для выполнения требований к уровню подготовки обучающихся<sup>1</sup>.

В кабинете должно быть мультимедийное оборудование, посредством которого участники образовательного процесса могут просматривать визуальную информацию по физике, создавать презентации, видеоматериалы и т. п.

В состав учебно-методического и материально-технического обеспечения программы учебной дисциплины «Физика», входят:

- многофункциональный комплекс преподавателя;
- наглядные пособия (комплекты учебных таблиц, плакаты: «Физические величины и фундаментальные константы», «Международная система единиц СИ», «Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева», портреты выдающихся ученых-физиков и астрономов);
- информационно-коммуникативные средства;
- экранно-звуковые пособия;
- комплект электроснабжения кабинета физики;
- технические средства обучения;
- демонстрационное оборудование (общего назначения и тематические наборы);
- лабораторное оборудование (общего назначения и тематические наборы);
- статические, динамические, демонстрационные и раздаточные модели;
- вспомогательное оборудование;
- комплект технической документации, в том числе паспорта на средства обучения, инструкции по их использованию и технике безопасности;
- библиотечный фонд.

В библиотечный фонд входят учебники, учебно-методические комплекты (УМК), обеспечивающие освоение учебной дисциплины «Физика», рекомендованные или допущенные для использования в профессиональных образовательных организациях, реализующих образовательную программу среднего общего образования в пределах освоения ОПОП СПО на базе основного общего образования.

Библиотечный фонд может быть дополнен физическими энциклопедиями, атласами, словарями и хрестоматией по физике, справочниками по физике и технике, научной и научно-популярной литературой естественно-научного содержания.

В процессе освоения программы учебной дисциплины «Физика» студенты должны иметь возможность доступа к электронным учебным материалам по физике, имеющимся в свободном доступе в сети Интернет (электронным книгам, практикумам, тестам, материалам ЕГЭ и др.).

<sup>1</sup> Письмо Министерства образования и науки РФ от 24.11.2011 № МД-1552/03 «Об оснащении общеобразовательных учреждений учебным и учебно-лабораторным оборудованием».

# РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

## *Для студентов*

### *Излагается в следующей редакции:*

Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2020

Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2020

Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Контрольные материалы: учеб. пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2020

Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2019

Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: Сборник задач: учеб. пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2019

Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: Решения задач: учеб. пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2020

Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО/под ред. Т.И. Трофимовой. – М., 2020

## *Для преподавателей*

### *Излагается в следующей редакции:*

Об образовании в Российской Федерации: федер. закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (в ред. Федеральных законов от 07.05.2013 № 99-ФЗ, от 07.06.2013 № 120-ФЗ, от 02.07.2013 № 170-ФЗ, от 23.07.2013 № 203-ФЗ, от 25.11.2013 № 317-ФЗ, от 03.02.2014 № 11-ФЗ, от 03.02.2014 № 15-ФЗ, от 05.05.2014 № 84-ФЗ, от 27.05.2014 № 135-ФЗ, от 04.06.2014 № 148-ФЗ, с изм.,

#### 4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Контроль и оценка результатов освоения дисциплины осуществляется преподавателем в процессе проведения практических занятий и лабораторных работ, тестирования, а также выполнения обучающимися индивидуальных заданий, проектов, исследований.

Результаты обучения (освоенные умения, усвоенные знания)	Формы и методы контроля и оценки результатов обучения
<p><b>знать/понимать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>смысл понятий:</b> физическое явление, гипотеза, закон, теория, вещество, взаимодействие, электромагнитное поле, волна, фотон, атом, атомное ядро, ионизирующие излучения, планета, звезда, галактика, Вселенная;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>смысл физических величин:</b> скорость, ускорение, масса, сила, импульс, работа, механическая энергия, внутренняя энергия, абсолютная температура, средняя кинетическая энергия частиц вещества, количество теплоты, элементарный электрический заряд;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>смысл физических законов</b> классической механики, всемирного тяготения, сохранения энергии, импульса и электрического заряда, термодинамики, электромагнитной индукции, фотоэффекта;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>вклад российских и зарубежных ученых</b>, оказавших наибольшее влияние на развитие физики;</li> </ul>	
<p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>описывать и объяснять физические явления и свойства тел:</b> движение небесных тел и искусственных спутников Земли; свойства газов, жидкостей и твердых тел; электромагнитную индукцию, распространение электромагнитных волн; волновые свойства света; излучение и поглощение света атомом; фотоэффект;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>отличать</b> гипотезы от научных теорий;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>делать выводы</b> на основе экспериментальных данных;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>приводить примеры, показывающие, что:</b> наблюдения и эксперимент являются основой для выдвижения гипотез и теорий, позволяют проверить истинность теоретических выводов; физическая теория дает возможность объяснять известные явления природы и научные факты, предсказывать еще неизвестные явления;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>приводить примеры практического использования физических знаний:</b> законов механики, термодинамики и электродинамики в энергетике; различных видов электромагнитных излучений для развития радио и телекоммуникаций, квантовой физики в создании ядерной энергетики, лазеров;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>воспринимать и на основе полученных знаний самостоятельно оценивать</b> информацию, содержащуюся в сообщениях СМИ, Интернете, научно-популярных статьях.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>применять полученные знания для решения физических задач</b> *;</li> <li>• <b>определять</b> характер физического процесса по графику, таблице,</li> </ul>	

формуле;	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>измерять ряд физических величин, представляя результаты измерений с учетом их погрешностей;</b></li> </ul>	

<p><b>использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• для обеспечения безопасности жизнедеятельности в процессе использования транспортных средств, бытовых электроприборов, средств радио- и телекоммуникационной связи;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• оценки влияния на организм человека и другие организмы загрязнения окружающей среды;</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• рационального природопользования и защиты окружающей среды.</li> </ul>	

*Результаты переносятся из паспорта программы. Перечень форм контроля следует конкретизировать с учетом специфики обучения, по программе дисциплин*

Приложение.

## Мастер общестроительных работ.

### Часть 1

#### Примеры решения качественных задач

**1.1. Объяснить с точки зрения молекулярно-кинетической теории соединение деталей с помощью клея.**

Решение. Прочное соединение двух тел – результат взаимодействия атомов контактируемых объектов. Наличие клея ведет к тому, что в месте контакта имеющиеся промежутки заполняются, что приводит к вовлечению молекул склеивающих деталей в сферу действия межмолекулярных сил.

**1.2. Для пропитки электроизоляционных волокнистых материалов их перед погружением в бак с лаком предварительно нагревают до 60–70 °С. Зачем нужен предварительный нагрев?**

Решение. Предварительный нагрев электроизоляционного волокнистого материала ускоряет скорость диффузии молекул лака в волокна, что делает процесс пропитки более эффективным.

**1.3. Как с помощью водяного манометра проверить герметичность участка газопровода?**

Решение. Если подсоединить манометр к газопроводу и перекрыть его кран, то при наличии течи его показания с течением времени уменьшаются.

**1.4. Почему при перегревании двигателя в системе смазки падает давление?**

Решение. Так как при повышении температуры вязкость масла уменьшается, то наличие зазоров в конструкции масляного насоса приводит к утечке масла, что и уменьшает его давление.

**1.5. Почему мокрые руки плохо вытираются при использовании шелковой или шерстяной ткани?**

Решение. При контакте воды с поверхностью, благодаря силам поверхностного натяжения, возникает или частичное смачивание или несмачивание данной поверхности. Упомянутые ткани относятся ко второй категории, что и затрудняет процесс вытирания рук.

**1.6. Почему заряженный проводник, покрытый пылью, быстро теряет свой заряд?**

Решение. При наличии пыли заряд проводника перетекает на пылинки, что уменьшает поверхностную плотность заряда.

**1.7. Для лучшего прилегания ремня к шкиву станков применяется канифоль. Почему во взрывоопасных помещениях запре-**



**щено ее применение?**

Решение. Канифоль способствует накоплению статического заряда на ремне, что недопустимо в помещениях такого рода.

**1.8. Почему при зарядке аккумулятора клапан в его крышке выворачивается?**

Решение. При зарядке аккумулятора происходит электролитическая диссоциация серной кислоты и воды с выделением водорода и кислорода. Если клапан не выкрутить, то выделяющиеся газы могут взорвать аккумулятор.

**1.9. Как изменяется внутреннее сопротивление аккумулятора в процессе его разрядки?**

Решение. Внутреннее сопротивление аккумулятора в процессе разрядки увеличивается, так как уменьшается концентрация ионов в электролите.

**1.10. Объяснить назначение мощных магнитов, устанавливаемых перед бункером, из которого зерно поступает в ковш, а затем в жернова?**

Решение. Основное назначение таких магнитов – извлекать из зерна железные предметы.

**1.11. Почему в трансформаторе, сердечник которого собран из изолированных пластин электротехнической стали, энергетические потери минимальны?**

Решение. Такая конструкция сердечника уменьшает энергетические потери за счет вихревых токов.

**1.12. Как объяснить, что стальные полосы и рельсы после длительной эксплуатации оказываются намагниченными?**

Решение. Это объясняется влиянием земного магнетизма.

**1.13. Для чего на тахометрах токарных станков красной чертой отмечают частоту собственных колебаний станка?**

Решение. Тахометр регистрирует число оборотов шпинделя станка. Наличие красной черты позволяет избежать последствий из-за резонансных явлений.

**1.14. Почему в радиоприемнике во время грозы иногда возникает треск?**

Решение. Радиоприемник реагирует на электромагнитные волны, генерируемые разрядами в атмосфере.

**1.15. При освещении тонкой пленки бензина белым светом на лужах наблюдается радужная окраска пленки. Как объяснить это явление?**

Решение. Такая картина объясняется интерференционными эффектами в тонких пленках при освещении излучением сплошного спектра.

**1.16. Какой оптический метод используют при определении**

### **химического состава вещества?**

Решение. Спектральный анализ излучения, инициируемого веществом, позволяет идентифицировать качественный и количественный химический состав данного вещества.

### **1.17. Что увидит наблюдатель при быстром вращении диска вокруг оси, перпендикулярной плоскости диска, две половинки которого окрашены, соответственно, в красный и зеленый цвет?**

Решение. В результате наложения на сетчатку глаза излучения красного и зеленого цветов возникает ощущение оранжевого цвета.

### **Решить следующие задачи**

1. Почему твердые материалы склеиваются труднее, чем пластичные?
2. Почему с увеличением влажности грунта коэффициент трения колес машины о грунт вначале увеличивается, а затем уменьшается?
3. Твердость поверхностного слоя железного изделия можно повысить путем цементирования изделия углеродом. При этом изделие нагревается в течение нескольких часов с последующей выдержкой в коробке, заполненной угольным порошком. С каким физическим явлением связана цементация железа?
4. Почему в процессе резания на передней поверхности резца образуется налет из частиц?
5. Почему не рекомендуется устанавливать приборы, работающие на сжиженном газе, в подвальных помещениях?
6. Краска представляет собой взвесь мельчайших частиц красителя в растворителе. Почему частицы красителя очень долго не осаждаются на дне банки, хотя их плотность значительно больше плотности растворителя?
7. Воздух в цилиндре дизельного двигателя сжимается поршнем до 20 раз. На какую особенность строения газов указывает это явление?
8. Объяснить естественную вытяжку продуктов сгорания газа через вытяжной канал, предусмотренный конструкцией жилого помещения?
9. Как с помощью термометра со шкалой до 50 °С измерять температуру тел с большей температурой?
10. Какие свойства красной меди делают ее исключительно удобной для паяльников?
11. В зимний день температура внутренней поверхности стены ниже температуры помещения, а температура наружной стены выше температуры наружного воздуха. Чем это можно объяснить?
12. При проведении газосварочных работ наблюдается некоторое

охлаждение редуктора кислородного баллона по сравнению с температурой окружающего воздуха. Объяснить это явление.

13. При запуске маломощных дизельных двигателей иногда вместе с топливом в цилиндры вводится небольшое количество воды. Зачем это делается?

14. Почему мощность двигателя при наличии глушителя уменьшается?

15. Можно ли производить смазку трущихся поверхностей машин несмачивающими эти поверхности смазочными материалами?

16. Для чего перед окраской поверхности предварительно грунтуют – покрывают олифой?

17. Какую роль в процессе пайки металлов играют флюсы?

18. Почему при пайке оловом или оловянным припоем необходимо тщательно очистить поверхность металла?

19. Почему алюминий нельзя паять оловянным припоем?

20. Почему содержание комьев глины, суглинков или пылевых частиц размером менее 1 мм в заполнителях бетона приводит к снижению качества бетонной смеси?

21. Шерстяными и хлопчатобумажными одеждами нельзя пользоваться при обслуживании оборудования для сжижения газа. Чем это объясняется?

22. Для предохранения от гниения деревянных опор воздушных линий электропередач используется предварительная пропитка антисептиком элементов опор, подверженных гниению. При этом используется диффузионный метод пропитки, эффективность которого повышается с увеличением влажности древесины. В чем причина?

23. Для чего на верхнюю часть фундамента укладываются материалы, не пропускающие влагу?

24. Все металлы и сплавы имеют кристаллическую структуру, однако анизотропность в механических, тепловых и электрических свойствах у них проявляются довольно редко. Объяснить, почему это происходит и как можно создать анизотропность свойств металлов и сплавов?

25. После укладки бетона в конструкции наблюдается интенсивный рост его прочности с последующим замедлением. Объяснить это явление.

26. Железобетон состоит из совместно работающих бетона и расположенной в нем арматуры. Какие физические свойства железобетона обеспечивают совместимость бетона и арматуры?

27. Кабель укладывают в траншею волнообразно, чтобы обеспечить запас порядка 1-3 % от общей длины прокладываемого кабеля. Зачем необходим этот запас?

28. Почему при наполнении автомобильной цистерны бензином ее и опорожняемый сосуд соединяют между собой проводником и заземляют?
29. Можно ли во время грозы оставаться в кабине строительной машины или необходимо покинуть ее?
30. Какими физическими свойствами должен обладать изолятор свечи системы зажигания двигателя внутреннего сгорания?
31. Какое физическое явление используется при электростатической защите электрорадиотехнических аппаратов?
32. В результате пробоя твердого диэлектрика он оказывается непригодным для дальнейшего использования, а жидкие и газообразные диэлектрики могут подвергаться многократному испытанию на электрическую прочность. Объяснить эту ситуацию.
33. Почему расстояние между электродами дуги обычно не превышает 3–6 мм?
34. Почему дуговой разряд не требует высокого напряжения?
35. Подземный кабель для электрообеспечения предприятий и жилых домов не разрешается прокладывать вблизи газовых, водопроводных и теплофикационных линий. Почему?
36. Почему при сборке магнитопровода электромагнитных устройств следят за тем, чтобы отдельные части магнитопровода плотно прилегали одна к другой?
37. Почему сердечник якоря генератора, трансформатора, электромагнита набирают из пластин электротехнической стали, изолированных между собой оксидом или лаком?
38. Когда ток в стартере наибольший: в момент запуска или при максимальной угловой скорости?
39. На промышленных предприятиях используется магнитная порошковая дефектоскопия для выявления дефектов структуры. Этот метод предполагает намагничивание образца с последующим нанесением ферромагнитного порошка. На чем основан этот метод контроля?
40. Почему на заводе при переноске раскаленных болванок нельзя применять электромагнитные подъемные краны?
41. В поддоне тракторного двигателя расположено спусковое отверстие для масла, в котором находится намагниченная пробка. Какова ее роль?

### **Примеры решения задач**

1. Определить уровень интенсивности звука от лектора на расстоянии 2 и 10 м от него. Звуковая мощность человека  $N$  равна  $2 \cdot 10^{-5}$  Вт.

Первый способ. Уровень интенсивности звука равен:

$$L = 10 \lg I / I_0 = 10 \cdot \lg N / 4 \cdot r^2 \cdot I_0 = 10 \cdot \lg N \cdot 8 \cdot 10^{-2} / r^2 \cdot I_0$$

$$(Тогда: L_2 = 10 \cdot \lg 2 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 10^{-2} / 4 \cdot 10^{-12} = 52,5 \text{ дБ})$$

Аналогично:

$$L_{10} = 10 \lg 2 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 10^{-2} / 100 \cdot 10^{-12} = 42 \text{ дБ.}$$

Второй способ:

$$\otimes L = L_2 - L_{10} = 20 \cdot \lg r_2 / r_1 = 20 \cdot \lg 5 = 14 \text{ дБ. Тогда}$$

$$L_{12} = L_2 - \otimes L = 42 \text{ дБ.}$$

2. Определить снижение уровня интенсивности звука при удалении от точечного источника звука на расстояние от 1 до 12 м. Какова интенсивность звука на расстоянии 1 м от источника, если установлено, что уровень интенсивности на расстоянии 12 м от источника 60 дБ?

$$\otimes L = 20 \lg r_2 / r_1 = 20 \cdot \lg 12 = 21,58 \text{ дБ.}$$

$$L_{12} = 10 \lg I_{12} / I_0, 60 = 10 \cdot \lg I_{12} / I_0, I_{12} = I_0 \cdot 10^{-6} = 10^{-6} \text{ Вт/м}^2.$$

3. Уровень интенсивности звука от автомобильного гудка на расстоянии 7 м от автомобиля – 100 дБ. На каком расстоянии от автомобиля гудок будет явно выделяться на фоне шума проходящего рядом грузовика ( $L > 80$  дБ)? Определить звуковую мощность гудка.

$$\otimes L = L_{\Gamma} - L_{\text{ш}} = 100 - 80 = 20; 20 \cdot \lg r_2 / r_1 = 20,$$

$$\lg r_2 / r_1 = 1, r_2 = 10 \cdot r_1 = 7 \cdot 10 = 70 \text{ м.}$$

$$L_7 = 10 \cdot \lg N \cdot 8 \cdot 10^{-2} / 49 \cdot 10^{-12} = 10 (\lg 1,63 + 9)$$

$$100 = 90 + 10 \cdot \lg 1,63 N,$$

$$\lg 1,63 \cdot N = 1, N = 6,13 \text{ Вт.}$$

4. Определить время стандартной реверберации на частоте 500 Гц для помещения, высота которого равна 3 м, длина 7 м, ширина 5 м. Площадь остекления 15 м<sup>2</sup>, стены и потолок оштукатурены, пол покрыт линолеумом. Количество стульев  $N = 30$ , их поглощение 1

$$\langle = 0,06 \text{ Сэб,}$$

число людей  $N_1 = 25$  с поглощением 2  $\langle = 0,5$  Сэб, количество столов

$$N_3 = 16 \text{ с поглощением } 0,12 \text{ Сэб каждый. Заданы: } \langle_{\text{ст}} = \langle_{\text{пот}} = 0,06,$$

$$\text{пол } \langle = 0,03, 3$$

$$\langle = 0,18.$$

1) ищем объем комнаты:  $V = 3 \cdot 5 \cdot 7 = 105 \text{ м}^3;$

2) площадь стен:  $S_{\text{ст}} = 2 \cdot 3 \cdot 7 + 2 \cdot 3 \cdot 5 = 72 \text{ м}^2;$

3) площадь потолка и пола:  $S_{\text{пот}} = S_{\text{пол}} = 5 \cdot 7 = 35 \text{ м}^2;$

4) эффективный показатель поглощения:

$$A = (S_{\text{ст}} - S_{\text{ок}} + S_{\text{пот}}) \cdot 0,06 + S_{\text{ок}} \cdot 0,18 + S_{\text{пол}} \cdot 0,03 + N_1 \cdot 0,5 +$$

$$+ N_2 \cdot 0,06 + N_3 \cdot 0,12 = 92 \cdot 0,06 + 15 \cdot 0,18 + 35 \cdot 0,03 + 25 \cdot 0,5 +$$

$$+ 30 \cdot 0,06 + 16 \cdot 0,12 = 5,52 + 2,7 + 1,05 + 12,5 + 1,8 + 1,92 =$$

$$= 25,49 \text{ сЭб}$$

5) время реверберации по формуле (3.1.4):

$$\text{трев} = 0,163 \cdot 140 / 25,49 = 0,9 \text{ с.}$$

5. Определить время стандартной реверберации на частоте 1000 Гц для кабинета директора завода с размерами  $10 \cdot 6 \cdot 4$  мЗ, в котором находится 30 мягких кресел (1

$\langle = 0,28$  СЭб) и стол для заседания

( $m \langle = 0,7$  СЭб. Материал стен – дерево ( $ст \langle = 0,08$ ), пол – паркет

( $пол \langle = 0,08$ ), потолок – штукатурка ( $пот \langle = 0,085$ ). Площадь окон – 20 м<sup>2</sup> (3

$\langle = 0,12$ ). Как изменится время реверберации во время совещания при 100% заполнении:

1) площадь стен  $S_{ст} = 2 \cdot 10 \cdot 4 + 2 \cdot 6 \cdot 4 = 128 \text{ м}^2$

2) площадь пола  $S_{пол} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ м}^2$

3) площадь потолка  $S_{пот} = 60 \text{ м}^2$

4) суммарная площадь  $S = 240 \text{ м}^2$

5) эффективный показатель поглощения:

$$A = (128 - 20) \cdot 0,08 + 60 \cdot 0,085 + 0,08 + 20 \cdot 0,12 + 30 \cdot 0,35 + 1 \cdot 0,7 = 32,4 \text{ СЭб};$$

6) ищем время реверберации по формуле (3.1.4)

$$\text{трев} = 0,163 \cdot 240 / 32,14 = 1,22 \text{ с};$$

7) при заполнении помещения учитывается суммарное поглощение кресла и человека, равное 0,56 СЭб, поэтому:

$$A = 32,14 - 10,5 + 30 \cdot 0,56 = 38,44 \text{ СЭб};$$

8) в этом случае время реверберации равно:

$$\text{трев} = 0,163 \cdot 240 / 38,44 = 1,02 \text{ с.}$$

6. Определить звукоизолирующую способность стены размером  $10 \cdot 4$  м<sup>2</sup>, выполненной из керамзитобетона ( $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной  $h_1 = 0,2$  м с внутренним слоем цементнопесчаной штукатурки толщиной  $h_2 = 1$  см ( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ). Площадь остекления 35 м<sup>2</sup>, звукоизолирующая способность 40 дБ. Ищем:

1) поверхностную плотность стены  $m$ :

$$M = 1600 \cdot 0,2 + 1800 \cdot 0,01 = 338 \text{ кг/м}^2;$$

2) так как  $m > 200$ , то в соответствии с (3.2.6) звукоизолирующая способность стены:

$$R_{ст} = 23 \cdot \lg m - 10 \text{ (дБ)} = 23 \cdot \lg 338 - 19 = 48,16 \text{ дБ.}$$

3) в соответствии с (3.2.1), с учетом остекления звукоизолирующая способность ограждения равна:

$$R_{огр} = 10 \cdot \lg 40 / 5 \cdot 10^{-4,81} + 35 \cdot 10^{-4} = 40,5 \text{ дБ.}$$

7. Определить звукоизолирующую способность кирпичной стены

( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной  $h_1 = 0,38$  м, размером  $5 \cdot 3$  м<sup>2</sup>, если в ней имеется окно размером  $1,5 \cdot 1,2$  м<sup>2</sup> с коэффициентом звукопровод-

ности 1

$| = 1,1 \cdot 10^{-3}$  и дверь размером  $1 \cdot 2,2 \text{ м}^2$  ( $2 | = 3 \cdot 10^{-4}$ ). Во сколько раз ограждение уменьшает интенсивность звука?

1)  $m = 1800 \cdot 0,38 = 684 \text{ дБ} > 200$ ;

2)  $R_{ст} = 23 \cdot \lg 684 - 10 = 55,2 \text{ дБ}$ ;

3) площадь стены без окна и двери:

$$S_{ст} = S - S_{дв} - S_{ок} = 15 - 1,8 - 2,2 = 11 \text{ м}^2$$

4) по формуле (3.2.1):

$$R = 10 \cdot 10 \cdot \lg 15 / (11 \cdot 10^{-0,1} \cdot 55,2 + 1,8 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 2,2 \cdot 3 \cdot 10^{-4}) = \\ = 10 \cdot \lg 15 \cdot 10^4 / 27 = 37,4 \text{ дБ.}$$

5)  $\textcircled{R} = I_{прош} / I_{исх} = 10^{0,1} R \square i$ , следовательно

$$I_{исх} / I_{прош} = 103,74 = 5,4 \cdot 10^3.$$

8. Удовлетворяет ли трехслойная стена из кирпича ( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной  $u_1 = 0,25 \text{ м}$ , облицованная с двух сторон сухой штукатуркой

( $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной  $h_2$ , акустическим требованиям  $R > 200 \text{ дБ}$ ?

Какова будет интенсивность звука и амплитуда звукового давления в помещении, если за перегородкой работает механизм ( $L = 70 \text{ дБ}$ )?

1)  $m = 450 + 24 = 474 \text{ дБ} > 200$ ;

2)  $R = 23 \cdot \lg 474 - 10 = 51,5 \text{ дБ}$ , что больше допустимого значения;

3)  $L_{внутр} = 10 \cdot \lg I_{прош} / I_0$ ,  $I_{прош} / I_{исх} = \textcircled{R} = 10^{-0,1} R$

$I_{исх} = 10 \cdot \lg I_{исх} / I_0$ , следовательно:

$$L_{внутр} = 10 \cdot \lg (I_0 \cdot 100,1 I_{исх} \cdot 10^{-0,1} R) / I_0 = 10 (0,1 \cdot L_{исх} - 0,1 R) = \\ = L_{исх} - R = 70 - 51,5 = 18,5 \text{ дБ,}$$

$L_{внутр} = 10 \cdot \lg I_{внут} / I_0$ , следовательно:

$$I_{внут} = I_0 \cdot 100,1 L_{внут} = 10^{-12} \cdot 101,85 = 7,08 \cdot 10^{-11} \text{ Вт/м}^2$$

$L_{внут} = 20 \cdot \lg P/P_0$ , следовательно:

$$P = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{L/20} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 100,92 = 1,66 \cdot 10^{-4} \text{ н/м}^2.$$

## Задачи для самостоятельного решения

Необходимые для решения задач данные находятся в таблице 1 Приложений.

1. Уровень интенсивности звука от тихо разговаривающего человека на расстоянии  $0,5 \text{ м}$  от него –  $30 \text{ дБ}$ . Будет ли это мешать соседям, находящимся на расстоянии  $2 \text{ м}$  от него? Каково максимальное расстояние, на котором этот разговор будет слышен?

2. Определить уровень интенсивности звука от лектора, выступающего на открытой эстраде, для слушателей, сидящих в первом ( $r = 3 \text{ м}$ ) и десятом ( $r = 10 \text{ м}$ ) рядах. На каком максимальном расстоянии от сцены могут находиться слушатели, чтобы без помощи усилителей слушать лектора не напрягаясь (звуковая мощность человека  $N = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}$ ).

3. Определить звуковую мощность мотора грузовика, если уровень интенсивности звука от него  $L = 80$  дБ на расстоянии 7 м от автомобиля. Мотор считать точечным источником звука.
4. Уровень интенсивности звука от работающего прибора на расстоянии 0,5 м составляет 70 дБ. Определить, на каком расстоянии уровень интенсивности звука будет соответствовать разговору средней громкости, т. е. 60 дБ.
5. Уровень интенсивности звука от игр детей на площадке детского сада на расстоянии 7,5 м от нее составляет 74 дБ. На каком расстоянии от площадки шум не будет мешать разговору взрослых ( $L < 50$  дБ). Найти амплитуду звукового давления. Площадку считать точечным источником звука.
6. Уровень интенсивности звука от проезжающего по дороге трактора в сельском доме, находящемся в 100 м от дороги, составляет 30 дБ. Звукоизолирующая способность стен дома – 30 дБ. Определить уровень интенсивности звука на рабочем месте тракториста, считая, что оно находится на расстоянии 1 м от точечного источника шума. Определить интенсивность звука и амплитуду звукового давления на рабочем месте.
7. Определить звуковую мощность будильника, если уровень интенсивности звука на расстоянии 1 м от него составляет 30 дБ. На каком расстоянии звук будильника не будет слышен?
8. Определить время стандартной реверберации на частоте 100 Гц для лекционной аудитории высотой 4 м, длиной 20 м, шириной 10 м, на 200 посадочных мест при 100% заполнении. Пол – паркетный, стены, потолок оштукатурены, площадь остекления – 50 м<sup>2</sup>. Сравнить с оптимальным временем реверберации.
9. Определить время стандартной реверберации (далее вр. ст. рев.) на частоте 50 Гц в спортивном зале с размерами 7, 20, 10 (м). Площадь окон 60 м<sup>2</sup>, стены из бетона, пол деревянный. Как изменится вр. ст. рев., если стены оштукатурить?
10. Определить вр. ст. рев. на частоте 1000 Гц жилой пустой комнаты с размерами 2,7; 5; 4,5 (м). Потолок и стены оштукатурены, пол паркетный. В комнате есть окно площадью 2,7 м<sup>2</sup>. Сравнить со вр. ст. рев. при открытом окне.
11. Определить вр. ст. рев. на частоте 1000 Гц в пустом цехе с размерами 9, 250, 100 (м). Потолок стеклянный, пол и стены из бетона.
12. Определить вр. ст. рев. на частоте 1000 Гц в помещении машбюро с размерами 3; 6; 6,5 (м). Пол паркетный, стены и потолок перфорированы, остекление – 8 м<sup>2</sup>, имеется 8 кресел с обшивкой.
13. Определить вр. ст. рев. при частоте 500 Гц в пустом гараже с размерами 5; 20,5 (м) при закрытых деревянных воротах площадью 54 м<sup>2</sup>. Стены из кирпича, пол и потолок из бетона. Как изменится



вр. ст. рев., если открыть ворота?

14. Оценить вр. ст. рев. на частоте 1000 Гц в пустой жилой комнате с размерами 3; 6; 4,5 (м). Площадь окон – 6 м<sup>2</sup>, стены и потолок оштукатурены, пол паркетный. Как изменится вр. ст. рев., если торцевую стену с окнами закрыть шторой из х/б ткани, а на стену повесить ковер площадью 6 м<sup>2</sup>?

15. Стена из бетона с гравием ( $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,4 м покрыта с двух сторон клееной фанерой ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,015 м. Размер стены 6 х 3 м<sup>2</sup>. В стене имеется дверь площадью 2,2 м<sup>2</sup> ( $R = 35 \text{ дБ}$  – звукоизолирующая способность). Определить коэффициент звукопроводности ограждения  $\alpha$ .

16. Ограждение состоит из внутренней и наружной обшивки из сосновых досок ( $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ ) с засыпкой из керамзита ( $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ). Какова должна быть толщина засыпки, чтобы  $R = 40 \text{ дБ}$ ?

17. Стена жилого дома состоит из железобетонной плиты ( $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,04 м, фибролита ( $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ) и сухой штукатурки ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,01 м. Найти толщину фибролита, при которой  $R = 45 \text{ дБ}$ .

18. Определить  $R$  трехслойной стены площадью 20 м<sup>2</sup>, состоящей из двух железобетонных плит ( $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,06 м каждая и утеплителя из минераловитых плит ( $\rho = 300 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,12 м. В стене имеется дверь площадью 2 м<sup>2</sup> ( $\alpha = 3 \cdot 10^{-4}$ ).

19. Кирпичная стена ( $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,25 м утеплена пенобетоном ( $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) и отделана фактурным слоем цементно-песчаной штукатурки ( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,02 м. Какова толщина слоя утеплителя, при которой  $\alpha = 3,16 \cdot 10^{-6}$ ?

20. Стена состоит из двух ж/б плит ( $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной по 0,05 м и утеплителя из фибролита ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ).  $R = 47 \text{ дБ}$ .

Определить толщину фибролита и коэффициент звукопроводности  $\alpha$ .

21. Определить  $R$  на частоте 1000 Гц ограждения площадью 45 м<sup>2</sup>, в виде трехслойной стены с внутренним и наружным слоями из туфобетона ( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной по 0,06 м и утеплителя из пенобетона ( $\rho = 1499 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,4 м. В стене имеется дверь площадью 2,3 м<sup>2</sup> ( $R = 45 \text{ дБ}$ ).

22. Определить звукоизолирующую способность  $R$  и коэффициент звукопроводности  $\alpha$  кирпичной стенки ( $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,51 м, оштукатуренной с двух сторон ( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) слоями толщиной по 0,015 м.

23. Стена из кирпича ( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,38 м отделана изнутри деревом ( $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,015 м. В стене имеется окно площадью 1,5 м<sup>2</sup> ( $R = 26 \text{ дБ}$ ). Площадь ограждения 18 м<sup>2</sup>. Опре-

делить коэффициент звукопроводности ограждения.

24. Ограждение состоит из внутренних и наружных дощатых щитов толщиной по 0,025 м с засыпкой из шлака ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ). Какова должна быть толщина засыпки, чтобы  $R = 41 \text{ дБ}$ . Определить коэффициент звукопроводности.

25. Определить звукоизолирующую способность ограждения площадью 50 м<sup>2</sup>, выполненную из ячеистого бетона ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,4 м, облицованного снаружи туфом ( $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,06 м. В стене имеется 3 окна площадью по 5 м<sup>2</sup> ( $R = 32 \text{ дБ}$ ).

26. Стена дома изготовлена из деревянных щитов ( $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной по 0,025 м, засыпанных внутри топливным шлаком ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ). Какова должна быть толщина засыпки, чтобы коэффициент звукопроводности был равен 10–4?

27. Ограждение площадью 17 м<sup>2</sup> выполнено из пористого кирпича ( $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,38 м, отделанного цементно-песчаным раствором ( $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,015 м и древесно-волокнистой плитой ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,02 м. В стене имеется окно размером 1,5 x 1,2 м<sup>2</sup> ( $R = 24 \text{ дБ}$ ). Определить коэффициент звукопроводности ограждения.

28. Стена из пенобетона ( $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,34 м отделана с одной стороны мрамором ( $\rho = 2800 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,02 м.

В стене площадью 60 м<sup>2</sup> имеется дверь площадью 6 м<sup>2</sup> ( $R = 40 \text{ дБ}$ ). Определить коэффициент звукопроводности ограждения.

29. Сколько слоев фибролита ( $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной по 0,075 м потребуется для обеспечения звукоизолирующей способности  $R > 45 \text{ дБ}$  панели, облицованной с двух сторон асбестоцементными листами ( $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной по 0,2 м. Чему равен коэффициент звукопроводности панели?

30. Определить звукоизолирующую способность и коэффициент звукопроводности кирпичной стены ( $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 0,51 м. Площадь стены 12,5 м<sup>2</sup>. Имеется окно размером 1,2 x 1,6 м<sup>2</sup> ( $R = 36 \text{ дБ}$ ).

1. Чтобы расплавленный припой (например, сплав олова со свинцом) растекался по поверхности спаиваемых металлов, их предварительно очищают паяльной жидкостью (хлористый цинк или другие жидкости, которые освобождают металлическую поверхность от оксидов). Почему необходима эта операция?
2. С помощью импульсного электросварочного станка в процессе разряда конденсатора емкостью 1000 мкФ при напряжении 1,5 кВ осуществляют сварку медной проволоки. Коэффициент полезного действия установки равен 4%. Определить полезную мощность станка, если время разрядного импульса 2 мкс.
3. Определить энергию поля конденсатора прерывателя пускового электродвигателя, если емкость конденсатора 0,4 мкФ и напряжение равно 250 В.
4. Электродвигатель постоянного тока, установленный для работы токарного станка, подключен к генератору, имеющему э.д.с. 250 В и внутреннее сопротивление 0,5 Ом. Определить ток в цепи и напряжение на клеммах генератора, если внешнее сопротивление 4,5 Ом. Начертите электрическую схему цепи.
5. Двигатель токарного станка работает при напряжении 220 В и силе тока 25 А. Определить полезную мощность двигателя, если его к.п.д. 70% и сопротивление обмотки двигателя.
6. К генератору постоянного тока э.д.с. которого 220 В, подключен электродвигатель токарного станка. Определить напряжение на клеммах двигателя, если сила тока в его обмотке ротора составляет 50 А при сопротивлении 0,8 Ом.
7. На клеммы электрического двигателя токарного станка подают напряжение 110 В. Обмотка ротора имеет сопротивление 0,4 Ом. Встречная э.д.с. при номинальном режиме двигателя

составляет  $102\text{В}$ . Определить силу тока при номинальном режиме двигателя, сопротивление пускового реостата при условии, что сила тока в нем не превышала удвоенного значения силы тока номинального режима и силу тока в цепи двигателя, если двигатель пустить без пускового реостата.

8. В момент начала движения электропоезда последовательно с шестью двигателями вводится пусковой реостат. Определить напряжение контактной сети, если сопротивление обмотки каждого двигателя  $0,255\text{Ом}$ . По обмотке двигателя протекает ток  $1\text{кА}$  при напряжении  $3,3\text{кВ}$ .

9. Из каких материалов изготавливают обмоточные, монтажные и установочные провода?

Какие провода применяют для обмоток роторов электродвигателей?

10. Человек с сопротивлением  $60\text{кОм}$  попал под напряжение  $3\text{кВ}$ .

Определить силу

тока, протекающего через него. Может ли он погибнуть в данных условиях? Что делают для

предотвращения несчастных случаев при работе с электрическими сетями и установками?

## Приложение.

### Сварщик (электросварочные и газосварочные работы).

#### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1 «КИНЕМАТИКА»

##### ВАРИАНТ №1

1. Два лыжника, находясь друг от друга на расстоянии 140 м, движутся навстречу друг другу. Один из них, имея начальную скорость 5 м/с, поднимается в гору равнозамедленно с ускорением  $0,1 \text{ м/с}^2$ . Другой, имея начальную скорость 1 м/с, спускается с горы с ускорением  $0,2 \text{ м/с}^2$ .
  - А) Через какое время скорости лыжников станут равными?
  - Б) С какой скоростью движется второй лыжник относительно первого в этот момент времени?
  - В) Определите время и место встречи лыжников.
2. С вертолета, летящего горизонтально на высоте 320 м со скоростью 50 м/с, сброшен груз.
  - А) Сколько времени будет падать груз? (Сопротивлением воздуха пренебречь)
  - Б) Какое расстояние пролетит груз по горизонтали за время падения?
  - В) С какой скоростью груз упадет на землю?
3. На станке сверлят отверстие диаметром 20 мм при скорости внешних точек сверла 0,4 м/с.
  - А) Определите центростремительное ускорение внешних точек сверла и укажите направление векторов мгновенной скорости и центростремительного ускорения.
  - Б) Определите угловую скорость вращения сверла.
  - В) Сколько времени потребуется, чтобы просверлить отверстие глубиной 150 мм при подаче 0,5 мм на один оборот сверла?

##### Вариант №2

1. Два автомобиля вышли со стоянки одновременно с ускорениями  $0,8 \text{ м/с}^2$  и  $0,6 \text{ м/с}^2$  в противоположных направлениях.
  - А) Чему равны скорости автомобилей через 20 с после начала движения?
  - Б) С какой скоростью движется первый автомобиль относительно второго в этот момент времени?
  - В) Через какое время после выхода со стоянки первый автомобиль пройдет расстояние, на 250 м больше, чем второй?
2. Из пушки произвели выстрел под углом  $45^0$  к горизонту. Начальная скорость снаряда 400 м/с.
  - А) Через какое время снаряд будет находиться в наивысшей точке полета? (Сопротивлением воздуха пренебречь)
  - Б) На какую максимальную высоту поднимется снаряд при полете? Чему равна дальность полета снаряда?
  - В) Как изменится дальность полета снаряда, если выстрел произвести под углом  $60^0$  к горизонту?
3. Лебедка, радиус барабана которой 8 см, поднимает груз со скоростью 40 см/с.

- А) Определите центростремительное ускорение внешних точек барабана и укажите направление векторов мгновенной скорости и центростремительного ускорения.
- Б) С какой угловой скоростью вращается барабан?
- В) Сколько оборотов сделает барабан лебедки при подъеме груза на высоту 20 м?

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2 « ДИНАМИКА »

### ВАРИАНТ №1

1. Брусок соскальзывает вниз по наклонной плоскости с углом наклона плоскости к горизонту  $30^\circ$ . Коэффициент трения бруска о наклонную плоскость 0,3.
  - А) Изобразите силы, действующие на брусок.
  - Б) С каким ускорением скользит брусок по наклонной плоскости?
  - В) Какую силу, направленную вдоль наклонной плоскости, необходимо приложить к бруску, чтобы он двигался вверх по наклонной плоскости с тем же ускорением? Масса бруска 10 кг.
2. Подвешенный на нити шарик массой 100 г отклонили от положения равновесия на угол  $60^\circ$  и отпустили.
  - А) Чему равна сила натяжения нити в этот момент времени?
  - Б) С какой скоростью шарик пройдет положение равновесия, если сила натяжения нити при этом будет равна 1,25 Н? длина нити 1,6 м.
  - В) На какой угол от вертикали отклонится нить, если шарик вращать с такой же скоростью в горизонтальной плоскости?
3. Космический корабль массой 10 т движется по круговой орбите искусственного спутника Земли на высоте, равной 0,1 радиуса Земли.
  - А) С какой силой корабль притягивается к Земле? (Массу Земли принять равной  $6 \cdot 10^{24}$  кг, а ее радиус – равным 6400 км)
  - Б) Чему равна скорость движения космического корабля?
  - В) Сколько оборотов вокруг Земли совершит космический корабль за сутки?

### ВАРИАНТ №2

1. Брусок равномерно скользит вниз по наклонной плоскости с углом наклона плоскости к горизонту  $30^\circ$  ( $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ ).
  - А) Изобразите силы, действующие на брусок.
  - Б) Определите коэффициент трения бруска о плоскость.
  - В) С каким ускорением стал бы двигаться брусок при увеличении угла наклона до  $45^\circ$ ?
2. На доске, который вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр, лежит маленькая шайба массой 50 г. Шайба прикреплена к горизонтальной пружине длиной 25 см, закрепленной в центре диска. Коэффициент трения шайбы о диск 0,2.
  - А) При какой минимальной линейной скорости движения шайбы пружина еще будет в нерастянутом состоянии?
  - Б) С какой угловой скоростью должен вращаться диск, чтобы пружина удлинилась на 5 см? жесткость пружины 100 Н/м.
  - В) Чему равен диаметр диска, если шайба слетит с него при угловой скорости 20 рад/с?
3. Планета Марс, масса которой равна 0,11 массы Земли, удалена от Солнца на расстояние, в 1,52 раза больше, чем Земля.
  - А) Во сколько раз сила притяжения Марса к Солнцу меньше, чем сила притяжения Земли к Солнцу?

- Б) С какой средней скоростью движется Марс по орбите вокруг Солнца? (Среднюю скорость движения Земли по орбите вокруг Солнца принять равной 30 км/с.)  
 В) Сколько земных лет составляет один год на Марсе?

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3 «ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ»

#### ВАРИАНТ №1

1. Пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 347 м/с, попадает в свободно подвешенный на нити небольшой ящик с песком массой 2 кг и застревает в нем.  
 А) Определите скорость ящика в момент попадания в него пули.  
 Б) Какую энергию приобрела система «ящик с песком – пуля» после взаимодействия пули с ящиком?  
 В) На какой максимальный угол от первоначального положения отклонится нить, на которой подвешен ящик, после попадания в него пули? Длина нити 1 м.
2. Подъемный кран равномерно поднимает груз массой 2 т на высоту 15 м.  
 А) Какую работу против силы тяжести совершает кран?  
 Б) Чему равен КПД крана, если время подъема груза 1 мин, а мощность электродвигателя **6,25 кВт**?  
 В) При какой мощности электродвигателя крана возможен равноускоренный подъем того же груза из состояния покоя на высоту 20 м за то же время? (КПД крана считать неизменным)
3. Труба массой 2,1 т и длиной 16 м лежит на двух опорах, расположенных на расстояниях 4 и 2 м от ее концов.  
 А) Изобразите силы, действующие на трубу, определите плечи этих сил относительно точки касания трубы с правой опорой и запишите условие равновесия трубы.  
 Б) Чему равна сила давления трубы на левую опору?  
 В) Какую силу необходимо приложить к правому концу трубы, чтобы приподнять его?

#### ВАРИАНТ №2

1. Пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 500 м/с, попадает в ящик с песком массой 2,49 кг, лежащий на горизонтальной поверхности, и застревает в нем.  
 А) Чему равна скорость ящика в момент попадания в него пули?  
 Б) Ящик скреплен пружиной с вертикальной стенкой. Чему равна жесткость пружины, если она сжалась на 5 см после попадания в ящик пули? (трением между ящиком и поверхностью пренебречь.)  
 В) На сколько сжалась бы пружина, если бы коэффициент трения между ящиком и поверхностью был равен 0,3?



2. Мощность двигателя подъемного крана 4,4 кВт.  
 А) Определите полезную работу, которую совершает двигатель крана за 0,5 мин, если КПД крана 80%?  
 Б) Определите массу груза, который можно равномерно поднять на высоту 12 м за это же время.  
 В) При каком КПД крана возможен равноускоренный подъем груза массой 1 т из состояния покоя на ту же высоту за то же время? (Мощность двигателя крана считать неизменной)

3. К балке массой 200 кг и длиной 5 м подвешен груз массой 250 кг на расстоянии 3 м от левого конца. Балка своими концами лежит на опорах.

А) Изобразите силы, действующие на балку, определите плечи этих сил относительно точки касания балки с левой опорой и запишите условие равновесия балки.

Б) Определите силу реакции правой опоры.

В) Какую силу необходимо приложить к левому концу балки, чтобы уравновесить.

### **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4 «МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ» ВАРИАНТ №1**

1. Материальная точка совершает 300 колебаний за 1 мин.

А) Определите период и частоту колебаний материальной точки.

Б) Составьте уравнение гармонических колебаний материальной точки и постройте график этих колебаний, если в момент времени  $t = 0$  ее смещение от положения равновесия максимально и равно 4 см.

В) Запишите уравнение зависимости скорости и ускорения материальной точки от времени и определите амплитудные значения этих величин.

2. Груз совершает колебания в горизонтальной плоскости на пружине, жесткость которой 50 Н/м.

А) Определите полную механическую энергию колебательной системы, если амплитуда колебаний груза равна 5 см.

Б) С какой скоростью груз проходит положение равновесия? Масса груза 500 г.

В) Как изменится скорость колеблющегося груза к тому времени, когда кинетическая и потенциальная энергии колебательной системы будут равны?

3. Источник звука, колеблющийся с периодом 0,002 с, возбуждает в воде волны с длиной волны 2,9 м.

А) Определите скорость звука в воде.

Б) Во сколько раз изменится длина звуковой волны при ее переходе из воды в воздух? (Скорость распространения звуковой волны в воздухе принять равной 330 м/с)

В) Определите расстояние между ближайшими точками среды, фазы колебаний которых противоположны, если распространение звуковой волны происходит в воздухе.

### **ВАРИАНТ №2**

1. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,05 \sin \pi t$ .

А) Определите амплитуду, период и частоту колебаний материальной точки.

Б) Постройте график колебаний материальной точки и определите, в какой, ближайшей к  $t = 0$ , момент времени фаза колебаний будет равна  $\pi/2$  рад.

В) Запишите уравнение зависимости скорости и ускорения материальной точки от времени и определите их значение в этот (смотрите пункт Б) момент времени.

2. Период колебаний математического маятника в покоящемся лифте 1 с.

А) Чему равна длина маятника?

Б) С каким ускорением стал двигаться лифт, если период колебаний маятника увеличился до 1,1 с?

В) Как изменится в этой ситуации период колебаний пружинного маятника, совершающего колебания без трения в горизонтальной плоскости?

3. Скорость распространения звуковой волны в воздухе 340 м/с, ее частота 680 Гц.

А) Определите длину звуковой волны.

Б) При переходе звуковой волны из воздуха в жидкую среду (нефть) ее длина волны увеличивается в 3,9 раза. Чему равна скорость распространения звука в жидкой среде?

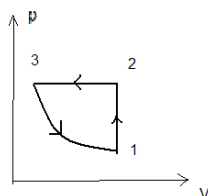
В) Чему равна разность фаз колебаний двух точек жидкой среды, находящихся друг от друга на расстоянии 97,5 см?



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №5 «МОЛЕКУЛЯРНО – КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ»

### ВАРИАНТ №1

- В опыте Штерна для определения скорости движения атомов используется платиновая проволока, покрытая серебром. При нагревании проволоки электрическим током серебро испаряется.
  - Определите массу атома серебра.
  - Почему в опыте Штерна на поверхности внешнего вращающегося цилиндра атомы серебра оседают слоем неодинаковой толщины?
  - Определите скорость большей части атомов серебра, если при частоте вращения цилиндров 50 об/с смещение полоски составило 6 мм. Радиус внешнего цилиндра 10,5 см, внутреннего цилиндра 1 см.
- В тонкостенном резиновом шаре содержится воздух массой 5 г при температуре 27<sup>0</sup> С и атмосферном давлении 10<sup>5</sup> Па.
  - Определите объем шара (Молярную массу воздуха принять равной 29 · 10<sup>-3</sup> кг/моль.)
  - При погружении шара в воду, температура которой 7<sup>0</sup> С его объем уменьшился на 2,3 л. Определите давление воздуха в шаре. (Упругостью резины пренебречь)
  - Сколько молекул газа ударится о единицу внутренней поверхности шара ( 1 м<sup>2</sup>) за 1 с в этом случае?
- С идеальным газом был произведен процесс, изображенный на рисунке. Масса газа постоянна.
  - Назовите процессы, происходящие с идеальным газом.
  - Изобразите графически эти процессы в координатах p, T
  - Изобразите графически зависимость плоскости идеального газа от температуры для этих процессов.



### ВАРИАНТ №2

- Перрен наблюдал беспорядочное движение взвешенных частиц гуммигута в жидкости.
  - Чем обусловлено движение частиц гуммигута и почему заметнее движение мелких частиц?
  - Сколько молекул содержится в броуновской частице в опыте Перрена, если масса частицы 8,5 · 10<sup>-15</sup> г, а относительная молекулярная масса гуммигута 320?
  - Во сколько раз различаются средние квадратичные скорости гуммигута и молекул воды, в которой они взвешены?
- Сосуд объемов 20 л наполнили азотом, масса которого 45 г, при температуре 27<sup>0</sup> С.
  - Определите давление газа в сосуде.
  - Каким будет давление, если в этот сосуд добавить кислород массой 32 г? Температуры газов одинаковы и постоянны.
  - Какую часть смеси необходимо выпустить из сосуда, чтобы давление в нем уменьшилось до атмосферного? Температура при этом понижается на 10 К.
- С идеальным газом был произведен процесс, изображенный на рисунке. Масса газа постоянна.
  - Назовите процессы, происходящие с идеальным газом.

- Б) Изобразите графически эти процессы в координатах  $V, T$   
 В) Изобразите графически зависимость плоскости идеального газа от температуры для этих процессов.



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6 «ЖИДКОСТЬ И ТВЕРДОЕ ТЕЛО»

### ВАРИАНТ №1

- В комнате объемом  $50 \text{ м}^3$  при температуре  $20^\circ \text{С}$  относительная влажность воздуха равна 40%.
  - Определите давление водяного пара, содержащегося в воздухе.
  - Чему равна масса водяного пара в комнате?
  - Сколько воды должно еще испариться, чтобы относительная влажность воздуха увеличилась в 1,5 раза?
- Шар, изготовленный из монокристалла, при нагревании может изменить не только свой объем, но форму.
  - Объясните, почему это может произойти.
  - Существуют ли в природе монокристаллы шарообразной формы? Ответ обоснуйте.
  - Возможно ли при нагревании изменение формы шара, изготовленного из стали? Ответ обоснуйте.

### ВАРИАНТ №2

- В подвале при температуре  $7^\circ \text{С}$  относительная влажность воздуха равна 100%.
  - Определите давление водяного пара, содержащегося в воздухе.
  - Чему равна масса воды, содержащейся в каждом кубическом метре воздуха?
  - Сколько воды выделится в виде росы при понижении температуры воздуха на  $2^\circ \text{С}$ ? Объем подвала  $20 \text{ м}^3$ .
- Разбили кусочек стекла и крупный кусок поваренной соли. Осколки стекла в отличие от поваренной соли оказались неправильной формы.
  - Почему наблюдается такое различие?
  - Почему в таблице температур плавления различных веществ нет температуры плавления стекла?
  - С каким из этих веществ по своим свойствам сходна медь? Почему?

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 7 «ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ»

### ВАРИАНТ №1

- Газ, содержащийся в сосуде под поршнем, расширился изобарно при давлении  $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$  от объема  $V_1 = 15 \text{ л}$  до объема  $V_2 = 25 \text{ л}$ .
  - Определите работу, которую совершил газ, при расширении. Изобразите этот процесс графически в координатах  $p, V$  и дайте геометрическое истолкование совершенной работе.
  - Какое количество теплоты было сообщено газу, если его внутренняя энергия при расширении увеличилась на  $1 \text{ кДж}$ ?
  - На сколько изменилась температура газа, если его масса  $30 \text{ г}$ ?

2. В алюминиевой кастрюле массой 0,3 кг находится вода массой 0,5 кг и лед массой 90 г при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ .

А) Какое количество теплоты потребуется, чтобы довести содержимое кастрюли до кипения?

Б) Какое количество теплоты поступало к кастрюле в единицу времени и какая часть тепла не использовалась, если нагревание длилось 10 мин? Мощность нагревателя 800 Вт.

В) Какая часть воды выкипит, если нагревание проводить в 2 раза дольше?

3. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, за один цикл совершает работу, равную 2,5 кДж, и отдает холодильнику количество теплоты, равное 2,5 кДж.

А) Определите КПД тепловой машины.

Б) Чему равна температура нагревателя, если температура холодильника  $17^{\circ}\text{C}$ ?

В) Какое топливо использовалось в тепловой машине, если за один цикл сгорало 0,12 г топлива?

### ВАРИАНТ №2

1. Газ переходит из состояния 1 в состояние 3 через промежуточное состояние 2.

А) Определите работу, которую совершает газ.

Б) Как изменилась внутренняя энергия газа, если ему было сообщено количество теплоты, равное 8 кДж?

В) На сколько и как изменилась температура одноатомного газа, взятого в количестве 0,8 моль?



2. В холодильнике из воды, температура которой  $20^{\circ}\text{C}$ , получили лед массой 200 г при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$ .

А) Какое количество теплоты было отдано водой и льдом?

Б) Сколько времени затрачено на получение льда, если мощность холодильника 60 Вт, а количество теплоты, выделившееся при получении льда, составляет 10% от количества энергии, потребленной холодильником?

В) Какое количество теплоты  $Q$  было отдано холодильником воздуху в комнате за это же время? (Теплоемкостью холодильника пренебречь)

3. Температура нагревателя идеальной тепловой машины  $227^{\circ}\text{C}$ , а температура холодильника  $47^{\circ}\text{C}$ .

А) Чему равен КПД тепловой машины?

Б) Определите работу, совершаемую тепловой машиной за один цикл, если холодильнику сообщается количество теплоты, равное 1,5 кДж.

В) Определите массу условного топлива, которое необходимо сжечь для совершения такой же работы.

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 8 «ЭЛЕКТРОСТАТИКА»

#### ВАРИАНТ №1

1. Два точечных заряда  $q_1 = 20$  нКл и  $q_2 = 50$  нКл расположены на расстоянии 10 см друг от друга в вакууме.

А) С какой силой взаимодействуют эти заряды?

Б) На каком расстоянии от заряда  $q_1$  расположена точка, в которую помещается заряд  $q_3$ , находящийся при этом в равновесии?

В) Чему равны напряженность и потенциал электрического поля, созданного зарядами  $q_1$  и  $q_2$  в этой точке?

2. Однородное электрическое поле создано двумя параллельными противоположно заряженными пластинами, находящимися друг от друга на расстоянии 20 мм. Напряженность электрического поля равна 3 кВ/м.

А) Чему равна разность потенциалов между пластинами?

Б) Какую скорость в направлении силовых линий поля приобретет первоначально покоящийся протон, пролетев пространство между пластинами? Заряд протона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, его масса  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг.

В) Во сколько раз меньшую скорость приобрела бы  $\alpha$ -частица, заряд которой в 2 раза больше заряда протона, а масса в 4 раза больше массы протона?

3. Плоский воздушный конденсатор емкостью 0,5 мкФ подключили к источнику постоянного напряжения 100 В.

А) Какой заряд накопит конденсатор при зарядке?

Б) Чему равна энергия заряженного конденсатора?

В) После отключения конденсатора от источника напряжения расстояние между его пластинами увеличили в 2 раза. Веществом, с какой диэлектрической проницаемостью необходимо заполнить пространство между пластинами, чтобы энергия заряженного конденсатора осталась неизменной?

### ВАРИАНТ №2

1. В двух вершинах треугольника со сторонами  $a = 4$  см,  $b = 3$  см и  $c = 5$  см находятся заряды  $q_1 = 8$  нКл и  $q_2 = -6$  нКл.

А) С какой силой взаимодействуют эти заряды?

Б) Определите напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника.

В) Определите потенциал электростатического поля в третьей вершине треугольника.

$q_1$

$a$   $c$

$b$

$q_2$

2. Пылинка с зарядом 3,2 нКл неподвижно висит в однородном электрическом поле.

А) Сколько электронов необходимо поместить на пылинку для ее нейтрализации?

(Модуль заряда электрона принять равным  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.)

Б) Чему равна масса пылинки, если напряженность электрического поля равна 40 кН/Кл?

В) С каким ускорением двигалась бы пылинка, если бы напряженность электрического поля была в 2 раза больше?

3. При подключении плоского воздушного конденсатора к источнику постоянного напряжения 120 В на конденсаторе может быть накоплен заряд 0,36 мкКл.

А) Определите емкость конденсатора.

Б) Чему равна энергия заряженного конденсатора?

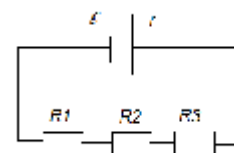
В) Как нужно изменить расстояние между пластинами конденсатора, чтобы, не отключая его от источника напряжения, увеличить накопленную конденсатором энергию в 2 раза?

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 9 «ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»

### ВАРИАНТ №1

1. Медный проводник имеет длину 500 м и площадь поперечного сечения 0,5 мм<sup>2</sup>.

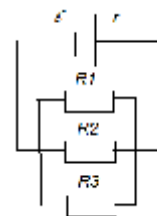
- А) Чему равна сила тока в проводнике при напряжении на его концах 12 В? Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.
- Б) Определите скорость упорядоченного движения электронов. Концентрацию свободных электронов для меди примите равной  $8,5 \cdot 10^{28}$  м<sup>-3</sup>, а модуль заряда электрона равным  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.
- В) К первому проводнику последовательно подсоединили второй медный проводник вдвое большего диаметра. Какой будет скорость упорядоченного движения электронов во втором проводнике?
2. К источнику тока, ЭДС которого равна 6 В, подключены резисторы, сопротивления которых  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = R_3 = 2$  Ом. Сила тока в цепи равна 1 А.
- А) Определите внутреннее сопротивление источника тока.
- Б) Какой станет сила тока в резисторе  $R_1$ , если к резистору  $R_3$  параллельно подключить такой же резистор  $R_4$  ?
- В) Определите потерю мощности в источнике тока в случае Б).



3. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением 380 В, сила тока в его обмотке равна 20 А.
- А) Какую работу совершает электрический ток в обмотке электродвигателя за 40 с?
- Б) На какую высоту за это время кран может поднять бетонный шар массой 1 т, если КПД установки 60%?
- В) Как изменятся энергетические затраты на подъем груза, если его будут поднимать из реки в воде? Плотность воды  $1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. (Сопротивлением жидкости при движении груза пренебречь)

### ВАРИАНТ №2

1. Стальной проводник диаметром 1мм имеет длину 100 м.
- А) Определите сопротивление стального проводника, если удельное сопротивление стали  $12 \cdot 10^{-8}$  Ом · м.
- Б) Какое напряжение нужно приложить к концам этого проводника, чтобы через его поперечное сечение за 0,3 с прошел заряд 1 Кл?
- В) При какой длине проводника и этом напряжении на его концах ( см. пункт Б) скорость упорядоченного движения электронов будет равна 0,5 мм/с? Концентрация электронов проводимости в стали  $10^{28}$  м<sup>-3</sup>. Модуль заряда электрона примите равным  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.
2. К источнику тока, ЭДС которого равна 6 В, подключены три одинаковых резистора сопротивлением 12 Ом каждый. Сила тока в неразветвленной части цепи равна 1,2 А.
- А) Определите внутреннее сопротивление источника тока.
- Б) К этим трем резисторам последовательно подключили резистор сопротивлением  $R_4 = 1$  Ом. Чему равна сила тока в резисторе  $R_4$ ?
- В) Чему равна мощность, которую выделяет источник тока во внешней цепи в случае Б)?



3. Электрочайник со спиралью нагревательного элемента сопротивлением 30 Ом включен в сеть напряжением 220 В.

А) Какое количество теплоты выделит нагревательный элемент за 4 мин.?

Б) Определите КПД электрочайника, если в нем можно вскипятить за это же время 1 кг воды, начальная температура которой  $20^0$  С. Удельная теплоемкость воды 4,19 кДж/кг· К.

В) Какая часть воды могла бы выкипеть за это же время работы электрочайника, если бы сопротивление спирали нагревательного элемента было равно 25 Ом? Удельная теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 10 ПО ТЕМЕ: «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ»

#### ВАРИАНТ 1

А1. Чем объясняется взаимодействие двух параллельных проводников с постоянным током?

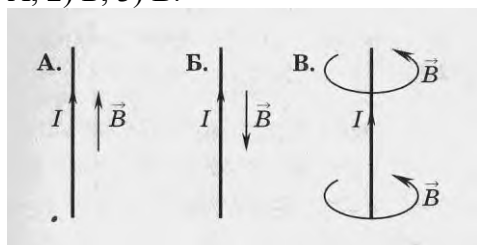
1. взаимодействие электрических зарядов;
2. действие электрического поля одного проводника с током на ток в другом проводнике;
3. действие магнитного поля одного проводника на ток в другом проводнике.

А2. На какую частицу действует магнитное поле?

1. на движущуюся заряженную;
2. на движущуюся незаряженную;
3. на покоящуюся заряженную;
4. на покоящуюся незаряженную.

А3. На каком из рисунков правильно показано направление индукции магнитного поля, созданного прямым проводником с током.

1. А; 2) Б; 3) В.

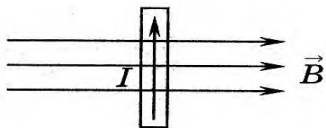


А4. Прямолинейный проводник длиной 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 4 Тл и расположен под углом  $30^0$  к вектору магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, если сила тока в проводнике 3 А?

1. 1,2 Н; 2) 0,6 Н; 3) 2,4 Н.

А5. В магнитном поле находится проводник с током. Каково направление силы Ампера, действующей на проводник?

1. от нас; 2) к нам; 3) равна нулю.



А6. Электромагнитная индукция – это:

1. явление, характеризующее действие магнитного поля на движущийся заряд;
2. явление возникновения в замкнутом контуре электрического тока при изменении магнитного потока;
3. явление, характеризующее действие магнитного поля на проводник с током.

А7. На квадратную рамку площадью  $1 \text{ м}^2$  в однородном магнитном поле с индукцией  $2 \text{ Тл}$  действует максимальный вращающий момент, равный  $4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . чему равна сила тока в рамке?

1.  $1,2 \text{ А}$ ; 2)  $0,6 \text{ А}$ ; 3)  $2 \text{ А}$ .

В1. Установите соответствие между физическими величинами и единицами их измерения

**ВЕЛИЧИНЫ  
ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ**

А)

индуктивность

1)

тесла (Тл)

Б)

магнитный поток

2)

генри (Гн)

В)

индукция магнитного поля

3)

вебер (Вб)

4)

вольт (В)

В2. Частица массой  $m$ , несущая заряд  $q$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  по окружности радиуса  $R$  со скоростью  $v$ . Что произойдет с радиусом орбиты, периодом обращения и кинетической энергией частицы при увеличении скорости движения?

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ  
ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

А)

радиус орбиты

1)

увеличится

Б)

период обращения

2)

уменьшится

- В)  
 кинетическая энергия  
 3)  
 не изменится

С1. В катушке, индуктивность которой равна 0,4 Гн, возникла ЭДС самоиндукции, равная 20 В. Рассчитайте изменение силы тока и энергии магнитного поля катушки, если это произошло за 0,2 с .

### ВАРИАНТ 2

А1. Поворот магнитной стрелки вблизи проводника с током объясняется тем, что на нее действует:

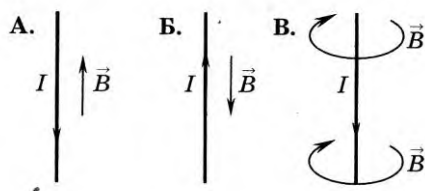
1. магнитное поле, созданное движущимися в проводнике зарядами;
2. электрическое поле, созданное зарядами проводника;
3. электрическое поле, созданное движущимися зарядами проводника.

А2. Движущийся электрический заряд создает:

1. только электрическое поле;
2. как электрическое поле, так и магнитное поле;
3. только магнитное поле.

А3. На каком из рисунков правильно показано направление индукции магнитного поля, созданного прямым проводником с током.

2. А; 2) Б; 3) В.

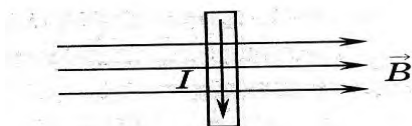


А4. Прямолинейный проводник длиной 5 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 5 Тл и расположен под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, если сила тока в проводнике 2 А?

1. 0,25 Н; 2) 0,5 Н; 3) 1,5 Н.

А5. В магнитном поле находится проводник с током. Каково направление силы Ампера, действующей на проводник?

1. от нас; 2) к нам; 3) равна нулю.



А6. Сила Лоренца действует

1. на незаряженную частицу в магнитном поле;
2. на заряженную частицу, покоящуюся в магнитном поле;
3. на заряженную частицу, движущуюся вдоль линий магнитной индукции поля.

А7. На квадратную рамку площадью  $2 \text{ м}^2$  при силе тока в 2 А действует максимальный вращающий момент, равный 4 Н·м. Какова индукция магнитного поля в исследуемом пространстве ?

- 1) 1 Тл; 2) 2 Тл; 3) 3 Тл.



В1. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины определяются

**ВЕЛИЧИНЫ  
ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ**

А)

Сила, действующая на проводник с током со стороны магнитного поля

1)

$$qVB \sin \alpha$$

Б)

Энергия магнитного поля

2)

$$BS \cos \alpha$$

В)

Сила, действующая на электрический заряд, движущийся в магнитном поле.

3)

$$IBL \sin \alpha$$

4)

$$\frac{LI^2}{2}$$

В2. Частица массой  $m$ , несущая заряд  $q$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  по окружности радиуса  $R$  со скоростью  $v$ . Что произойдет с радиусом орбиты, периодом обращения и кинетической энергией частицы при увеличении заряда частицы?

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ  
ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

А)

радиус орбиты

1)

увеличится

Б)

период обращения

2)

уменьшится

В)

кинетическая энергия

3)

не изменится

С1. Под каким углом к силовым линиям магнитного поля с индукцией 0,5 Тл должен двигаться медный проводник сечением 0,85 мм<sup>2</sup> и сопротивлением 0,04 Ом, чтобы при скорости 0,5 м/с на его концах возбуждалась ЭДС индукции, равная 0,35 В? (удельное сопротивление меди  $\rho = 0,017$  Ом·мм<sup>2</sup>/м)

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №11 «ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ»**

## ВАРИАНТ №1

1. В катушке с площадью поперечного сечения  $5 \text{ см}^2$  индукция однородного магнитного поля равномерно уменьшается от 200 до 50 мТл за 5 мс. Линии магнитной индукции параллельны оси катушки.
- А) Определите изменение магнитного потока в катушке.
  - Б) Чему равна ЭДС индукции, возникшей в катушке, если в ней 500 витков?
  - В) Чему равна сила индукционного тока, возникшего в катушке? Катушка изготовлена из медного провода с площадью поперечного сечения  $0,25 \text{ мм}^2$ ? Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
2. В соленоиде при изменении в нем силы тока от 2 до 1 А за 2 с возникла ЭДС самоиндукции 0,05 В.
- А) Определите индуктивность соленоида.
  - Б) На сколько изменилась (увеличилась или уменьшилась) энергия магнитного поля соленоида за это время?
  - В) Определите сопротивление соленоида.
3. Проводник длиной 2 м движется без трения под углом  $30^\circ$  к вектору индукции однородного магнитного поля со скоростью 4 м/с, опираясь своими концами на два параллельных металлических стержня. На концах проводника возникает разность потенциалов 40 мВ.
- А) Чему равна индукция магнитного поля?
  - Б) Определите силу тока, который будет идти через амперметр, присоединенный к стержням, если проводник перемещать в этом магнитном поле перпендикулярно линиям индукции с той же скоростью? Сопротивление амперметра 10 Ом. (Сопротивлением стержней и соединительных проводов пренебречь).
  - В) Какой заряд пройдет через амперметр при перемещении проводника на расстояние 1 м?

## ВАРИАНТ №2

1. В катушке, содержащей 300 витков проволоки, в течении 6 мс происходит равномерное изменение магнитного потока.
- А) На сколько и как изменился (увеличился или уменьшился) магнитный поток, пронизывающий катушку, если в ней возникла ЭДС индукции, равная 2 В?
  - Б) Определите начальное значение индукции магнитного поля, если ее конечное значение 10 мТл. Площадь поперечного сечения катушки  $4 \text{ см}^2$ . Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости катушки.
  - В) При каком начальном значении индукции магнитного поля возникающая в катушке ЭДС могла быть в 2 раза меньше?
2. В контуре, индуктивность которого 0,5 Гн, при изменении силы тока в течении 0,4 с возникла ЭДС самоиндукции 5 В.
- А) На сколько изменилась сила тока в контуре?
  - Б) Во сколько раз за это время изменилась энергия магнитного поля контура? Начальное значение силы тока равно 5 А.
  - В) Определите количество теплоты, которое выделилось в контуре за это время.
3. Стальной проводник с длиной активной части 1,4 м перемещается по двум параллельным проводящим направляющим в однородном магнитном поле под углом  $45^\circ$  к вектору магнитной индукции. В проводнике возбуждается ЭДС индукции 0,5 В. Индукция магнитного поля 0,2 Тл.
- А) Чему равна скорость перемещения проводника?
  - Б) Какой станет ЭДС индукции, если этот проводник перемещать перпендикулярно линиям индукции с вдвое большей скоростью?

**В)** Определите заряд, который будет проходить через поперечное сечение проводника в каждую секунду, если направляющие замкнуть накоротко. Площадь поперечного сечения проводника  $5 \text{ мм}^2$ . Удельное сопротивление стали  $12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  (Сопротивлением направляющих пренебречь).

## **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №12 «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ»**

### **ВАРИАНТ №1**

1. Колебательный контур радиоприемника состоит из конденсатора емкостью  $1000 \text{ пФ}$  и катушки индуктивностью  $50 \text{ мкГн}$ .
  - А)** Чему равен период собственных колебаний в контуре?
  - Б)** На какую длину волны настроен данный радиоприемник?
  - В)** На сколько, и как необходимо изменить емкость конденсатора для настройки радиоприемника на длину волны  $300 \text{ м}$ ?
2. В сеть переменного тока напряжением  $220 \text{ В}$  включена катушка индуктивностью  $50 \text{ мГн}$ .
  - А)** Чему равна частота переменного тока, если сила тока в цепи  $1,75 \text{ А}$ ? (Активным сопротивлением катушки пренебречь).
  - Б)** Определите емкость конденсатора, который нужно включить в данную цепь, чтобы в цепи наступил резонанс.
  - В)** Определите резонансную частоту в цепи, если последовательно с имеющимся конденсатором включить такой же конденсатор.
3. Первичная обмотка понижающего трансформатора содержит  $10\,000$  витков и включена в сеть переменного тока напряжением  $380 \text{ В}$ .
  - А)** Чему равно напряжение во вторичной обмотке, если она состоит из  $1000$  витков?
  - Б)** Сопротивление вторичной обмотки трансформатора  $1 \text{ Ом}$ , сила тока в ней  $3 \text{ А}$ . Чему равно напряжение на нагрузке, подключенной к вторичной обмотке трансформатора?
  - В)** Чему равен КПД трансформатора?

### **ВАРИАНТ №2**

1. Открытый колебательный контур излучает радиоволны с длиной волны  $300 \text{ м}$ .
  - А)** Определите частоту излучаемых волн.
  - Б)** Определите индуктивность контура, если его емкость  $5000 \text{ пФ}$ .
  - В)** На сколько и как нужно изменить индуктивность контура, чтобы излучались радиоволны вдвое большей длины волны?
2. В сеть переменного тока с частотой  $50 \text{ Гц}$  и напряжением  $220 \text{ В}$  включен конденсатор емкостью  $4 \text{ мкФ}$ .
  - А)** Чему равна сила тока в цепи?
  - Б)** Определите индуктивность катушки, которую нужно включить в данную цепь, чтобы в цепи наступил резонанс.
  - В)** Чему будет равна резонансная частота в цепи, если параллельно с имеющимся конденсатором включить такой же конденсатор?
3. Напряжение на первичной обмотке трансформатора  $6 \text{ В}$ , а на вторичной обмотке  $120 \text{ В}$ .
  - А)** Чему равна сила тока во вторичной обмотке, если сила тока в первичной обмотке равна  $4 \text{ А}$ ?
  - Б)** Определите напряжение на выходе трансформатора, если его КПД равен  $95\%$ .
  - В)** Чему равно сопротивление вторичной обмотки трансформатора?

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №13 «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ»

### ВАРИАНТ 1

1. Определить угол преломления стекла, если угол падения равен  $60^{\circ}$ , а показатель преломления стекла 1,6.
2. Определить длину волны в сероуглероде, если в воздухе она равна 500 нм.
3. Определить скорость света в воде.

### ВАРИАНТ 2

1. Световая волна длиной 600 нм переходит из алмаза в воздух, показатель преломления алмаза 2,4. Определить длину световой волны и скорость света в воздухе.
2. Определить угол падения света на стекло, если угол преломления равен  $45^{\circ}$ , а показатель преломления стекла равен 1,6.
3. Определить время, за которое световая волна пройдет стеклянную призму толщиной 400 см.

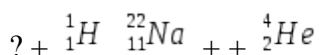
## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №14 «КВАНТОВА ФИЗИКА»

### ВАРИАНТ 1

1. Определите энергию фотона с частотой  $2 \cdot 10^{15}$  Гц.
2. Определите количество нейтронов и протонов ядра атома  ${}^{11}_5\text{B}$ . Вычислите энергию связи данного ядра.
3. Допишите ядерную реакцию и вычислите энергетический выход ядерной реакции:  
 ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0\text{n} = ? + {}^4_2\text{He}$

### ВАРИАНТ 2

1. Определите энергию фотона с длиной волны  $2 \cdot 10^{-8}$  м.
2. Определите количество нейтронов и протонов ядра атома  ${}^{19}_4\text{Be}$ . Вычислите энергию связи данного ядра.
3. Допишите ядерную реакцию и вычислите энергетический выход ядерной реакции:



### ВАРИАНТ 3

1. Вычислите кинетическую энергию фотоэлектронов, полученных при облучении лития излучением с длиной волны 900 нм.
2. Определите количество нейтронов и протонов в ядре  ${}^{22}_{11}\text{Na}$ . Определите энергию связи данного ядра.
3. Напишите ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке бора  ${}^{11}_5\text{B}$  нейтронами, в результате из образовавшегося ядра выбрасывается альфа – частица. Определите энергетический выход ядерной реакции.

### ВАРИАНТ 4

1. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов должно произойти при радиоактивном распаде ядра урана  $^{238}_{92}\text{U}$  и конечном превращении его в ядро свинца  $^{206}_{82}\text{Pb}$  ?

## Приложение.

### Мастер по обработке цифровой информации.

#### Задачи с решением по темам: механика и кинематика

Задача В1. Тело проехало путь 20 м за 5 с. Какой путь оно проедет за 10 с, если его скорость увеличить на 40% ?

Задача В2. Поезд начал двигаться равноускоренно с ускорением 2 и за 10 с проехал некоторый путь. Найти скорость поезда в средней точке этого пути.

Задача В3. Расстояние между двумя прибрежными поселками катер проходит по течению за 40 мин, а обратно — за 1 ч. За какое время проплывут это расстояние плоты?

Задача В4. Путь, пройденный материальной точкой, движущейся равномерно по окружности радиусом 6,28 см, изменяется с течением времени согласно уравнению (см). Чему равна угловая скорость точки?

Задача В5. Камень брошен с некоторой высоты в горизонтальном направлении со скоростью . Через сколько времени вектор скорости камня будет направлен под углом к горизонту? Сопротивлением пренебречь.

Задача В6. Уравнение движения материальной точки . В какой координате скорость точки станет равна нулю?

Задача В7. Тело половину пути прошло со скоростью 36 км/ч, а вторую половину со скоростью 54 км/ч. Найти среднюю скорость на всем пути.

Задача В8. Эскалатор метро поднимает неподвижно стоящего пассажира за 2 мин. По неподвижному эскалатору пассажир поднимется за 2,5 мин. За сколько времени эскалатор поднимет идущего по нему пассажира? Движение равномерное.

Задача В9. Частота вращения колеса увеличилась. Как изменились его угловая скорость, линейная скорость точек обода колеса и их центростремительное ускорение?

Задача В10. Винт самолета вращается с частотой 1800 об/мин. Посадочная скорость самолета 54 км/ч, длина посадочной линии 700 м. Сколько оборотов сделает винт за время торможения?

Задача С1. Начальная скорость материальной точки 4 м/с. Вначале точка движется замедленно с модулем ускорения . Найти весь путь, который она проделает за 10 с, двигаясь с постоянным по модулю ускорением?

Задача С2. Ракета стартовала с земли вертикально вверх, двигаясь равноускоренно с ускорением  $a$ . Через 10 с двигатель ракеты заглох. Через сколько времени она упадет на землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача С3. Колонна солдат длиной 20 м движется по шоссе со скоростью 3,6 км/ч. Командир, находящийся в хвосте колонны, посылает солдата с вопросом к сержанту, шагающему во главе колонны. Солдат бежит туда и обратно со скоростью, превышающей скорость колонны на 20%. Через сколько времени солдат доставит командиру ответ сержанта, если он слушал его в течение 0,5 мин?

Задача С4. Камень бросили вниз с начальной скоростью 2 м/с. Время его падения на землю равно 3 с. Чему равна средняя скорость падения камня на оставшейся до земли третьей части всей высоты его падения? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача С5. Маленький мячик бросили с земли под углом  $60^\circ$  к горизонту со скоростью 5 м/с в вертикальную стену, расположенную на расстоянии 1,5 м от места бросания. Под каким углом к горизонту отскочит мячик после абсолютно упругого удара о стену? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача С6. Горизонтальная платформа равномерно вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр. На расстоянии, равном трети радиуса платформы, отрывается от ее поверхности небольшое тело и скользит по ней без трения. Через сколько времени тело слетит с платформы, если до отрыва оно двигалось с ускорением  $0,1$  ? Радиус платформы 60 см.

Задача С7. Свободно падающее без начальной скорости тело за первую секунду проходит некоторый путь, а последний такой же путь оно проходит за 0,4 с. С какой высоты упало тело?

Задача С8. Два автомобиля движутся со скоростями 36 км/ч и 54 км/ч под углом  $= 60^\circ$  друг к другу. В некоторый момент времени один из них оказался в пункте М, а другой в тот же момент — в пункте N, расстояние между которыми  $S = 10$  км.

Задача С9. Мимо остановки по прямой улице проезжает грузовик, двигаясь равномерно со скоростью 10 м/с. Через 5 с от остановки ему вдогонку отъезжает мотоциклист с ускорением  $a$ . На каком расстоянии от остановки мотоциклист догонит грузовик?

Задача С10. Сбегая по эскалатору с одной скоростью, мальчик насчитал ступенек, а когда он увеличил скорость в полтора раза, он насчитал на  $SN$  ступенек больше. Сколько ступенек  $N$  насчитает мальчик, спускаясь с первой скоростью по неподвижному эскалатору?

### Задачи с решением по темам: динамика, статика и гидромеханика

Задача В1. На рис. 120 изображена наклонная плоскость высотой  $h = 60$  см с невесомым блоком на ее вершине. Через блок перекинута невесомая и нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы с массами  $m_1 = 0,5$  кг и  $m_2 = 0,6$  кг. Найти ускорение грузов, если длина наклонной плоскости  $l = 1$  м и коэффициент трения груза массой  $m_2$  о плоскость  $\mu$ . Ответ округлить до десятых долей  $\text{м/с}^2$ .

Задача В2. На какой высоте  $H$  ускорение свободного падения вчетверо меньше, чем на земной поверхности? Радиус Земли  $6400$  км.

Задача В3. Движение материальной точки задано уравнением  $s = 0,5t^3$ . Определить импульс этой точки через  $5$  с, считая от момента начала отсчета времени движения, если ее масса  $100$  г.

Задача В4. 4 одинаковых бруска толщиной  $2$  см каждый плавают в воде (рис. 121). Насколько изменится глубина погружения брусков, если снять один брусок?

Задача В5. Тонкая однородная доска массой  $2$  кг упирается одним концом в угол между стенкой и полом, а к другому концу доски привязан канат (рис. 122). Определить силу натяжения каната, если угол между доской и канатом прямой, а между доской и полом он равен  $60^\circ$ .

Задача В6. Шар, на треть объема погруженный в воду, лежит на дне сосуда и давит на дно с силой, равной половине веса шара. Плотность воды  $\rho_0$ . Найти плотность шара. Ответ округлить с точностью до целого числа.

Задача В7. Вес тела в воде  $P_1$ , а в масле  $P_2$ . Плотность воды  $\rho_0$ , а плотность масла  $\rho_1$ . Найти плотность тела.

Задача В8. Начальная скорость тела  $8$  м/с. При его движении на тело действует сила сопротивления, модуль которой пропорционален скорости тела согласно закону  $F_{\text{сопр}} = kv$ , где коэффициент пропорциональности  $k = 0,2$  кг/с. Масса тела  $2$  кг. Какой путь пройдет тело до остановки?

Задача В9. Два груза массами  $800$  г и  $200$  г связаны невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через блок (рис. 123). Блок вращается без трения. С какой скоростью левый груз, двигаясь без начальной скорости, достигнет пола, если вначале он располагался на высоте  $1$  м над ним? Сопротивлением пренебречь.



Задача В10. Четвертая часть горизонтального стержня изготовлена из меди. Ее масса 2 кг. Масса остальной — стальной части стержня 4 кг. Длина всего стержня 1 м. Найти положение центра тяжести стержня относительно его медного конца.

Задача В11. Спутник переходит на более удаленную от Земли круговую орбиту. Как при этом изменяются линейная скорость спутника на орбите, период его обращения, кинетическая энергия, потенциальная энергия? Полная механическая энергия спутника остается постоянной.

Задача С1. К концам однородного стержня длиной  $Z = 1,8$  м приложены силы (рис. 125). Найти силу натяжения стержня на расстоянии четверти длины от его левого конца.

Задача С2. На краю горизонтальной доски, вращающейся вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр, укреплена нить с подвешенным к ней маленьким тяжелым шариком. Длина нити 20 см, частота вращения доски 1 об/с. При вращении доски нить отклоняется от вертикали на угол  $30^\circ$  (рис. 126). Найти длину доски. Ответ округлить до сотых долей метра.

Задача С3. Лыжник массой 80 кг спустился с горы высотой 30 м и после спуска проехал еще по горизонтальной поверхности до остановки 150 м (рис. 128). Найти силу сопротивления на горизонтальном участке, если на горе она была равна нулю.

Задача С4. Гиря, положенная сверху на вертикальную пружину, сжимает ее на 1 мм. Если эту гирю бросить на пружину со скоростью 0,2 м/с с высоты 10 см, то какова теперь будет деформация пружины?

Задача С5. Через невесомый блок перекинута нить, к концам которой прикреплены грузы кг. К грузу массой подвесили на нити груз массой кг (рис. 129). Найти силу натяжения нити между грузами .

Задача С6. На дне ящика находится шар, удерживаемый нитью в равновесии (рис. 130). На какой максимальный угол можно отклонить ящик от горизонтальной поверхности, чтобы шар остался в равновесии, если коэффициент трения шара о дно ящика равен 0,5? Весом нити пренебречь.

Задача С7. Шарик из материала, плотность которого в  $n$  раз меньше плотности воды, падает в воду с высоты  $H$ . На какую максимальную глубину  $h$  погрузится шарик?

Задача С8. Два одинаковых бруска массами по 20 г каждый соединены упругой вертикальной пружиной с жесткостью 300 Н/м (рис. 131, а). Нажатием на верхний брусок пружину сжали так, что ее деформация стала 5 см (рис. 140, б). Какова будет скорость центра масс этой системы тел в момент отрыва нижнего бруска от стола? Сопротивление не учитывать.

Задача С9. Брусок массой  $M$  лежит на горизонтальном столе. Его пробивает пуля, летевшая параллельно поверхности стола со скоростью  $v$ . Пробив брусок, пуля вылетает в том же направлении с вдвое меньшей скоростью. При этом брусок передвигается по столу на расстояние  $S$ . Чему равен коэффициент трения бруска о поверхность стола?

Задача С10. Внутри полого шара диаметром  $D$  находится маленький кубик. Шар вращается с частотой  $\nu$  вокруг оси, проходящей через его центр. На какую высоту  $h$  поднимется кубик, перемещаясь по поверхности шара в процессе его вращения? Трением пренебречь.

Задача С11. Геостационарный спутник находится на высоте  $H$  над одной и той же точкой планеты массой  $M$ , вращающейся вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega$ . Найти среднюю плотность вещества планеты.

Задача С12. Маленький шарик массой  $m$ , подвешенный на невесомой нити длиной  $l$ , движется по окружности (рис. 63). Угол отклонения нити от вертикали  $\alpha$ . За какое время шарик сделает полный оборот?

Задача С13. По желобу  $ab$  с высоты  $h$  скатывается маленький кубик массой  $m$  (рис. 133). На конце желоба кубик отрывается под углом  $\alpha$  к горизонту и пролетает отрезок  $bc$  в течение времени  $t$ . Найти работу сил трения при движении бруска по желобу. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача С14. Два шара массами  $m_1$  и  $m_2$  движутся горизонтально и поступательно навстречу друг другу со скоростями  $v_1$  и  $v_2$  и неупруго сталкиваются. Найти изменение механической энергии шаров.

Задача С15. Шарик массой  $m$ , летящий горизонтально со скоростью  $v$ , абсолютно упруго ударяется о неподвижный шар массой  $M$ , висящий на нити длиной  $l$ . Удар центральный. На какой угол отклонится шар массой  $M$  после удара (рис. 134)?

Задача С16. Ядро атома, имевшее кинетическую энергию  $E$ , распалось на два осколка равной массы, которые разлетелись со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ . Под каким углом  $\alpha$  друг к другу разлетелись осколки, если их общая кинетическая энергия после распада стала равна  $E$ ?

Задача С17. Небольшое тело соскальзывает с вершины полусферы радиусом  $R$  (рис. 136). На какой высоте  $h$  тело сорвется с поверхности полусферы и полетит вниз? Трение не учитывать.

Задача С18. К концам двух вертикальных пружин одинаковой длины  $s$  жесткостями  $10 \text{ Н/м}$  и  $30 \text{ Н/м}$  подвешен стержень массой  $3 \text{ кг}$  длиной  $2 \text{ м}$  (рис. 137). На каком расстоянии от конца стержня, к которому прикреплена пружина с

жесткостью 10 Н/м, надо подвесить груз, чтобы стержень остался в горизонтальном положении и при этом пружины удлинились на 20 см?

Задача С19. С края полусферы радиусом  $R$ , вершина которой лежит на горизонтальной плоскости, по внутренней поверхности полусферы скатывается без трения маленький кубик массой  $m$  и ударяется о другой маленький кубик вдвое большей массы, лежащий в самом низу полусферы. Какое количество теплоты выделится в результате неупругого удара?

### **Задачи с решением по темам: молекулярная физика и термодинамика**

Задача В1. В колбе объемом 1,5 л содержится атомов гелия. Какова средняя кинетическая энергия атомов? Давление газа в колбе Па.

Задача В2. Вычислить среднюю квадратичную скорость молекул газа, если его масса  $m = 6$  кг, объем и давление  $p = 200$  кПа.

Задача В3. На сколько процентов увеличивается средняя квадратичная скорость молекул воды в нашей крови при повышении температуры от 37 до 40 °С?

Задача В4. Газ сжат изотермически от объема до объема . Давление при этом возросло на . Каким было начальное давление ?

Задача В5. Определить температуру газа, находящегося в закрытом сосуде, если давление газа увеличивается на 0,4 % первоначального давления при нагревании на 1 К.

Задача В6. Современные вакуумные насосы позволяют понижать давление до . Сколько молекул газа содержится в при указанном давлении и температуре 27 °С?

Задача В7. Где больше молекул: в комнате объемом при давлении Па и температуре 20 °С или в стакане воды объемом ?

Задача В8. Чему равна средняя квадратичная скорость молекул газа, если его масса  $m = 6$  кг, объем и давление  $p = 200$  кПа?

Задача В9. Три сферы радиусами 4 см, 8 см и 10 см заполнены газом и соединены тонкими трубками, перекрытыми кранами (рис. 165). Давление газа в левой сфере 0,2 МПа, давление газа в средней сфере 0,4 МПа, давление газа в правой сфере 0,8 МПа. Каким станет давление газа, если оба крана открыть?

Задача В10. В баллоне находится газ при температуре 15 °С. Во сколько раз уменьшится давление газа, если 40 % его выйдет из баллона, а температура при этом понизится на 8 °С?

Задача В11. В баллоне с газом имелась щель, через которую газ просачивался. При нагревании этого газа его температура повысилась в 3 раза, а давление увеличилось в 1,5 раза. Во сколько раз изменилась масса газа в баллоне?

Задача В12. Ампула объемом 1 содержит воздух при нормальных условиях. Ампула оставлена в космосе, в ней пробито отверстие. Через сколько времени давление в ампуле станет равно 0, если из нее каждую секунду вылетает 100 миллионов молекул?

Задача В13. В аудитории объемом температура воздуха повысилась с 20 °С до 30 °С. Атмосферное давление Па, молярная масса воздуха 0,029 кг/моль, Какая масса воздуха вышла из комнаты?

Задача В14. При переходе определенной массы газа из одного состояния в другое его давление уменьшается, а температура увеличивается. Как при этом меняется его объем?

Задача В15. В 3 л воды при 40 °С бросили 50 г льда при -4 °С. Какая установилась температура после того, как весь лед растаял? Удельная теплоемкость воды, удельная теплоемкость льда, удельная теплота плавления льда.

Задача В16. В герметически закрытом сосуде находятся 5 моль идеального одноатомного газа при 27 °С. Какое количество теплоты надо передать этому газу, чтобы его давление увеличилось в 3 раза?

Задача В17. Какое количество теплоты нужно передать 2 моль идеального одноатомного газа, чтобы изобарно увеличить его объем в 3 раза, если начальная температура 300 К?

Задача В18. На рис. 166 изображен график зависимости температуры куба со стороны 10 см от выделенного им количества теплоты. Плотность вещества куба 7000. Определить удельную теплоемкость вещества. Ответ округлить до целого числа.

Задача В19. С какой скоростью  $v$  должна вылететь из ружья свинцовая дробишка при выстреле, сделанном вертикально вниз с высоты  $h = 50$  м, чтобы при ударе о камень она полностью расплавилась? Начальная температура дробишки = 400 К, температура плавления свинца = 600 К. Удельная теплоемкость свинца  $c = 0,13$  кДж/(кг · К), удельная теплота плавления свинца = 25 кДж/кг.

Задача В20. На рис. 167 изображен термодинамический цикл в координатах  $p$  —  $V$ , происходящий в газе. При этом цикле внутренняя энергия газа увеличилась на 500 кДж. Какое количество теплоты было передано газу?

Задача В21. Температуру холодильника идеального теплового двигателя уменьшили, а температуру нагревателя оставили прежней. При этом количество

теплоты, полученное газом от нагревателя, тоже не изменилось. Как изменялись работа газа за цикл, количество теплоты, отданное холодильнику, и КПД двигателя?

Задача С1. В горизонтально расположенной трубке, запаянной с одного конца, находится столбик ртути длиной  $l$ , запирающий столбик воздуха. Трубку поворачивают вертикально открытым концом вверх и нагревают воздух в ней на  $\Delta T$ . При этом объем воздуха в трубке не изменяется. Давление наружного воздуха в комнате  $p_0$ . Найти температуру воздуха в комнате.

Задача С2. В цилиндре под поршнем находится газ. Масса поршня  $m$ , площадь его основания  $S$ . С какой силой надо давить на поршень, чтобы объем воздуха под ним уменьшился вдвое и при этом температура воздуха будет повышена на 60%? Атмосферное давление нормальное. Трением пренебречь.

Задача С3. Воздушный шар имеет объем  $V_0$ . Температура воздуха снаружи  $17^\circ\text{C}$ , температура воздуха внутри шара  $127^\circ\text{C}$ . Давление атмосферы  $p_0$ , в шаре имеется отверстие. Шар движется вверх равномерно. Соппротивлением пренебречь. Найти массу нерастяжимой оболочки шара.

Задача С4. Идеальный одноатомный газ расширяется (рис. 168) сначала изобарно (участок 1-2), а потом адиабатно (участок 2-3 графика). При адиабатном расширении газ совершил работу  $27\text{ кДж}$ . Температура газа в состоянии 1 равна температуре в состоянии 3. Найти работу расширения газа в процессе 1-2-3.

Задача С5. Идеальный одноатомный газ, находящийся в теплоизолированном сосуде объемом  $V$  под давлением  $p_0$ , заперт поршнем массой  $M$  (рис. 169). Справа поршень удерживают упоры 1 и 2, не давая газу расширяться. В поршень попадает пуля массой  $m$ , летящая горизонтально со скоростью  $v$ , и застревает в нем. Считая, что всю механическую энергию поршень передаст газу, определить, во сколько раз повысится температура газа. Процесс в газе изобарный.

Задача С6. В цилиндре под двумя одинаковыми тонкими поршнями находится сжатый идеальный газ. Расстояния от дна цилиндра до нижнего поршня и от нижнего поршня до верхнего одинаковы и равны  $h$ . Давление воздуха под верхним поршнем вдвое больше атмосферного. Вся система находится в равновесии. На верхний поршень надавливают так, что он опускается на место нижнего, сжимая газ. Каким станет расстояние  $x$  от нижнего поршня до дна сосуда? Атмосферное давление постоянно.

Задача С7. Агрегат мощностью  $50\text{ кВт}$  охлаждается проточной водой, текущей со скоростью  $4\text{ м/с}$  по охватывающей агрегат трубке радиусом  $5\text{ мм}$ . Начальная температура воды  $10^\circ\text{C}$ . До какой температуры нагревается вода, если половина тепловой мощности агрегата идет на ее нагревание? Удельная теплоемкость воды  $4200\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Задача С8. Тепловой двигатель совершает круговой цикл, соответствующий графику на рис. 170. Цикл состоит из двух изохор 1-2 и 3-4, и двух адиабат 2-3 и 4-1. Найти КПД этого цикла.

Задача С9. В калориметр налита вода массой 0,4 кг при 10 °С. В воду положили 0,6 кг льда при -40 °С. Определить температуру после установления теплового равновесия. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг \* К), удельная теплоемкость льда 2100 Дж/(кг \* К), удельная теплота плавления льда Дж/кг.

Задача С10. В калориметр налита вода массой 0,25 кг при температуре 25 °С. В эту воду впустили стоградусный пар массой 10 г. Теплоемкость калориметра 1000 Дж/К, Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг \* К), удельная теплота парообразования Дж/К. Найти температуру при тепловом равновесии этих тел.

Задача С10 молей идеального газа нагрели на 100 К. В процессе нагревания давление газа росло прямо пропорционально его объему. Какое количество теплоты было сообщено газу?

Задача С12. В идеальном газе происходит процесс, изображенный на рис. 171. Какое количество теплоты подведено к газу в этом процессе, начиная от состояния 1 и кончая состоянием 4?

Задача С13. Идеальный одноатомный газ данной массы сначала изобарно переводят из состояния 1 в состояние 2, а затем его снова адиабатно переводят из состояния 2 в состояние 3 (рис. 172). Конечный объем газа в обоих процессах . Отношение количества теплоты, полученного газом в изобарном процессе, к модулю изменения внутренней энергии при адиабатном процессе равно 4. Во сколько раз работа при изобарном процессе больше работы при адиабатном процессе?

Задача С14. Два теплоизолированных сосуда соединены узкой трубкой с закрытым краном, объемом которой можно пренебречь. В первом сосуде содержится молей идеального газа со средней квадратичной скоростью молекул , а во втором содержится молекул этого газа со средней квадратичной скоростью молекул . Все молекулы одинаковы. Какова будет их средняя квадратичная скорость молекул и, если кран открыть?

Задача С15. В горизонтально расположенном цилиндрическом сосуде находится идеальный газ массой , закрытый поршнем массой . Вследствие изобарного расширения газа при его нагревании поршень приобретает скорость  $V$ , двигаясь из состояния покоя. Внутренняя энергия газа  $U$  прямо пропорциональна его абсолютной температуре, где  $k$  — коэффициент пропорциональности. Молярная масса газа  $M$ . Какое количество теплоты  $Q$  передано газу при этом?

Теплоемкостями сосуда и поршня пренебречь.

Задача С16. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится 2 л водяного пара при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении  $P_a$ . Поршень опускают, и объем пара изобарно уменьшается вдвое. Какое количество теплоты отдает этот пар, если при этом его температура не изменяется? Удельная теплота парообразования Дж/ кг, молярная масса водяного пара  $0,018\text{ кг/моль}$ .

Задача С17. Посередине теплоизолированного и закрытого цилиндрического сосуда длиной  $l$  с площадью основания  $S$  располагается поршень, толщиной которого можно пренебречь. Справа от поршня в сосуде находится газ под давлением и при температуре  $T$ , а слева вакуум. Поршень соединен с левым основанием цилиндра сжатой упругой пружиной жесткостью  $k$ . Длина пружины в недеформированном состоянии равна длине цилиндра. Поршень удерживается в неподвижном состоянии внешним воздействием. Какая установится температура газа  $T_1$ , если поршень отпустить? Известно, что внутренняя энергия этого газа пропорциональна его температуре:  $U = CT$ , где  $C$  — известный коэффициент пропорциональности. Трением и теплоемкостями цилиндра с поршнем можно пренебречь.

Задача С18. Тонкостенный резиновый шар массой  $40\text{ г}$  наполнен кислородом и погружен на глубину  $20\text{ м}$ . Найти массу кислорода в шаре, если он находится в равновесии. Давление атмосферы  $P_a$ , температура на глубине  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Растяжением и объемом оболочки шара пренебречь. Молярная масса кислорода  $0,032\text{ кг/моль}$ , плотность воды  $1000$ .

### **Задачи с решением по теме: электромагнетизм**

Задача В1. Масса электрона  $m_e$  кг, а масса протона  $m_p$  кг. Во сколько раз сила их кулоновского притяжения больше силы гравитационного притяжения?

Задача В2. С одной капли воды массой  $m = 0,03\text{ г}$  на другую каплю перешел  $1\%$  всех ее электронов. Расстояние между каплями  $1\text{ км}$ . Определить, с какой кулоновской силой теперь будут взаимодействовать эти капли.

Задача В3. Два одинаковых маленьких шарика имеют заряды  $q_1$  и  $q_2$ . Их привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Определить, во сколько раз изменилась сила их кулоновского взаимодействия.

Задача В4. Два положительных заряда  $Q_1$  и  $Q_2$  расположены на расстоянии  $1\text{ м}$  друг от друга. Посередине между ними помещают отрицательный заряд  $q$ . Определить модуль и направление вектора силы, действующей на отрицательный заряд со стороны двух положительных зарядов.

Задача В5. Определить период вращения электрона вокруг ядра в атоме водорода. Радиус орбиты электрона принять равным  $r$ .

Задача В6. Точка М находится посередине между зарядами (рис. 284). Какой заряд надо поместить вместо заряда в точку 2, чтобы напряженность электрического поля в точке М увеличилась в 3 раза?

Задача В7. Вектор напряженности однородного электрического поля направлен вниз, напряженность этого поля равна В/м. В это поле помещена капелька масла массой г. Капелька оказалась в равновесии. Найти заряд капельки и число избыточных электронов на ней.

Задача В8. Три одинаковых точечных заряда по 1 нКл каждый расположены в трех вершинах квадрата со стороной 9 см. Найти напряженность результирующего поля в четвертой вершине. Среда — воздух.

Задача В9. Разность потенциалов между электродами электронной пушки равна 500 В. Определить скорость вылетающих из нее электронов.

Задача В10. Два заряда 4 нКл и 9 нКл расположены на расстоянии 20 см друг от друга. На каком расстоянии от меньшего заряда напряженность электрического поля этих зарядов равна нулю? Среда — вакуум.

Задача В11. Отношение заряда электрона к его массе (удельный заряд электрона) м/с, его начальная скорость в электрическом поле равна м/с, а конечная м/с. Электрон перемещается по силовой линии поля. Определить разность потенциалов между начальной и конечной точками перемещения электрона.

Задача В12. К конденсатору емкостью 10 пФ последовательно подключили два параллельных конденсатора емкостями 4 пФ и 6 пФ. Общий заряд этих конденсаторов 1 нКл. Чему равно общее напряжение на конденсаторах? Обозначим емкость первого конденсатора, — емкость второго конденсатора, — емкость третьего конденсатора, — общую емкость второго и третьего конденсаторов, С — общую емкость всей батареи конденсаторов, U — общее напряжение на батарее, q — общий заряд.

Задача В13. Напряжение на обкладках конденсатора 200 В, расстояние между обкладками 0,2 мм. Конденсатор отключили от источника зарядов, после чего увеличили расстояние между обкладками до 0,7 мм. Определить новое напряжение на обкладках конденсатора.

Задача В14. Между обкладками плоского конденсатора находится слюдяная пластинка с диэлектрической проницаемостью 6. Емкость конденсатора 10 мкФ, напряжение на его обкладках 1 кВ. Какую работу надо совершить, чтобы вынуть пластинку из конденсатора, не отключая его от источника напряжения?

Задача В15. Плоский конденсатор состоит из двух обкладок площадью 40 каждая. Между ними находится стекло с диэлектрической проницаемостью 7. Какой заряд



находится на обкладках этого конденсатора, если напряженность электрического поля между ними  $8 \text{ МВ/м}$ ?

Задача В16. Два проводника с емкостями  $4 \text{ пФ}$  и  $6 \text{ пФ}$  заряжены соответственно до потенциалов  $8 \text{ В}$  и  $10 \text{ В}$ . Найти их потенциал после соприкосновения друг с другом.

Задача В17. Плоский воздушный конденсатор зарядили до напряжения  $600 \text{ В}$  и отключили от источника зарядов, после чего расстояние между обкладками увеличили от  $0,2 \text{ мм}$  до  $0,7 \text{ мм}$  и ввели диэлектрик с проницаемостью  $7$ . Найти новое напряжение между обкладками

Задача В18. При увеличении напряжения на обкладках конденсатора в три раза энергия его электрического поля увеличилась на  $200 \text{ мДж}$ . Найти начальную энергию конденсатора.

Задача В19. Сопротивление медного проводника  $0,2 \text{ Ом}$ , его масса  $0,2 \text{ кг}$ , плотность меди  $8900 \text{ кг/м}^3$ . Определить площадь поперечного сечения проводника.

Задача В20. Длина медного проводника  $300 \text{ м}$ , напряжение на его концах  $36 \text{ В}$ , концентрация электронов проводимости в проводнике . Определить среднюю скорость упорядоченного движения электронов в этом проводнике.

Задача В21. Чему равна энергия конденсатора емкостью  $10 \text{ мкФ}$  (рис. 237)? ЭДС источника тока  $4 \text{ В}$ , внутреннее сопротивление  $1 \text{ Ом}$ , сопротивления резисторов  $10 \text{ Ом}$ .

Задача В22. На рис. 238 изображена схема электрической цепи. Когда ключ  $K$  разомкнут, вольтметр показывает  $4 \text{ В}$ , а когда ключ  $K$  замкнут, вольтметр показывает  $3,8 \text{ В}$ . Сопротивление резистора  $2 \text{ Ом}$ . Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

Задача В23. Электрическая цепь состоит из источника тока и лампы с последовательно подключенным к ней амперметром и параллельно вольтметром (рис. 239). Вольтметр показывает напряжение  $4 \text{ В}$ , а амперметр силу тока  $2 \text{ А}$ . ЭДС источника тока  $5 \text{ В}$ . Найти внутреннее сопротивление источника тока. Обозначим  $U$  напряжение на лампе,  $I$  — силу тока в ней,  $\mathcal{E}$  — ЭДС источника тока,  $r$  — внутреннее сопротивление источника тока,  $R$  — сопротивление лампы.

Задача В24. ЭДС источника тока  $6 \text{ В}$ . При внешнем сопротивлении  $1 \text{ Ом}$  сила тока в цепи  $3 \text{ А}$ . Найти силу тока короткого замыкания.

Задача В25. ЭДС источника тока  $4 \text{ В}$ , внешнее сопротивление равно внутреннему. Найти напряжение на полюсах источника тока, когда цепь замкнута.

Задача В26. Три лампы сопротивлением  $12,5 \text{ Ом}$  каждая соединены параллельно и подключены к источнику тока с ЭДС  $10 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $0,5 \text{ Ом}$  (рис. 289). Сопротивление соединительных проводов  $2 \text{ Ом}$ . Найти напряжение на лампах.

Задача В27. К концам свинцовой проволоки длиной  $2 \text{ м}$  приложено напряжение  $25 \text{ В}$ . Начальная температура проволоки  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Через сколько времени проволока начнет плавиться? Температура плавления свинца  $327 \text{ }^\circ\text{C}$ , его удельное сопротивление.

Задача В28. В чайнике нагрели воду объемом  $0,32 \text{ л}$  при  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  и поставили на электроплитку. Через сколько времени выкипит вся вода, если сила тока в цепи  $10 \text{ А}$ , а сопротивление нагревателя  $20 \text{ Ом}$ ? Удельная теплоемкость воды  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , удельная теплота парообразования воды  $2256 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

Задача В29. Лифт массой  $2,4 \text{ т}$  поднимается на высоту  $25 \text{ м}$  за  $40 \text{ с}$ . КПД подъема  $60\%$ . Найти силу тока в электродвигателе лифта, если он работает под напряжением  $220 \text{ В}$ . Ответ округлить до целого числа ампер.

Задача В30. Сколько электронов проходит за  $10 \text{ с}$  через поперечное сечение проводника при мощности тока в нем  $150 \text{ Вт}$  и напряжении  $220 \text{ В}$ ? Ответ представьте как произведение целого числа на  $10^{19}$ .

Задача В31. Трамвай массой  $m$  движется по горизонтальному пути со скоростью  $V$ . Коэффициент сопротивления движению  $\rho$ , напряжение на проводах  $U$ , КПД электрической цепи. Найти силу тока в двигателе.

Задача В32. Включенная в сеть электрическая плитка выделила количество теплоты  $Q$ . Определить, какое количество теплоты выделяют за такое же время две такие плитки, если их включить в ту же сеть последовательно и параллельно. Зависимость сопротивления от температуры можно не учитывать.

Задача В33. На рис. 240 изображена электрическая цепь, состоящая из двух гальванических элементов с ЭДС  $4,5 \text{ В}$  и  $1,5 \text{ В}$  и внутренними сопротивлениями  $1,5 \text{ Ом}$  и  $0,5 \text{ Ом}$  и лампы, сопротивление которой в нагретом состоянии  $23 \text{ Ом}$ . Определить мощность, потребляемую этой лампой.

Задача В34. Мощность, потребляемая алюминиевой обмоткой электромагнита при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , равна  $5 \text{ кВт}$ . Какой станет мощность тока в обмотке, если температура повысится до  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , а напряжение останется прежним? Какой станет мощность, если прежним останется ток?

Задача В35. Электрическая цепь содержит реостат, сопротивление которого можно изменять от  $0,1 \text{ Ом}$  до  $1 \text{ Ом}$ . ЭДС источника тока  $72 \text{ В}$ . При каком сопротивлении реостата максимальная мощность тока в цепи будет  $6 \text{ Вт}$ ?

Задача В36. Три одинаковых источника постоянного тока с внутренним сопротивлением у каждого  $0,8 \text{ Ом}$  соединены последовательно. Во сколько раз изменится мощность тока в резисторе сопротивлением  $10 \text{ Ом}$ , подключенном к этим источникам, если их соединить параллельно?

Задача В37. Напряжение на электродах при электролизе алюминия в 10 раз больше, чем при электролизе меди. Во сколько раз энергия при электролизе алюминия больше, чем при электролизе меди той же массы? Электрохимический эквивалент меди  $0,33 \text{ мг/Кл}$ , алюминия  $0,093 \text{ мг/Кл}$ . Ванны, в которых происходит электролиз, соединены последовательно. Ответ округлить до целого числа.

Задача В38. При электролизе меди сопротивление электролита  $1 \text{ мОм}$ , напряжение на электродах  $8 \text{ В}$ . Через сколько времени на катоде выделится  $1 \text{ кг}$  меди? Электрохимический эквивалент меди  $0,33 \text{ мг/Кл}$ . Ответ округлить до целого числа минут.

Задача В39. Сила тока в электрохимической ванне при электролизе  $25 \text{ А}$ , время электролиза  $2 \text{ ч}$ , площадь детали, покрываемой никелем, , электрохимический эквивалент никеля  $\text{кг/Кл}$ , его плотность . Определить толщину покрытия.

Задача В40. На медном резисторе в течение  $10 \text{ с}$  поддерживали напряжение  $2 \text{ В}$ . Чему равна длина резистора, если его температура повысилась при этом на  $8 \text{ К}$ ? Удельное сопротивление меди  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ , плотность меди , удельная теплоемкость меди  $380 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Изменением сопротивления резистора при нагревании и потерями тепловой энергии можно пренебречь. Ответ округлить до целого числа метров.

Задача В41. Проводник массой  $10 \text{ г}$  и длиной  $2 \text{ см}$  висит неподвижно в магнитном поле индукцией  $4 \text{ Тл}$ . Найти силу тока в проводнике.

Задача В42. В однородном магнитном поле индукцией  $0,4 \text{ Тл}$  находится прямой проводник длиной  $0,15 \text{ м}$ , расположенный перпендикулярно магнитным линиям. По проводнику идет ток силой  $8 \text{ А}$ . Под действием силы Ампера проводник перемещается на  $0,025 \text{ м}$ . Определить работу, совершенную при перемещении.

Задача В43. Электрон влетел в однородное магнитное поле индукцией  $B$  перпендикулярно магнитным линиям. Через какое время он окажется в точке влета? Масса и заряд электрона известны.

Задача В44. Электрон, имеющий кинетическую энергию  $91 \text{ эВ}$ , влетел в скрещенные электрическое и магнитное поля, в которых векторы напряженности и магнитной индукции взаимно перпендикулярны. Вектор скорости электрона перпендикулярен силовым линиям обоих полей. Чему равна индукция магнитного поля, если электрон в этих полях стал двигаться равномерно и прямолинейно при напряженности электрического поля  $100 \text{ В/см}$ ?

Задача В45. Круглый проволочный виток диаметром 50 см расположен своей плоскостью перпендикулярно магнитным линиям однородного магнитного поля индукцией 50 мТл. Сопротивление витка 2 Ом. Какой заряд протечет через поперечное сечение проводника, из которого изготовлен виток, при равномерном уменьшении магнитного поля до нуля? Явлением самоиндукции пренебречь.

Задача В46. Сопротивление проводящего контура Ом. За 2 с пересекающий контур магнитный поток равномерно изменяется на Вб. Определить силу индукционного тока в проводнике.

Задача В47. Индуктивность катушки с малым сопротивлением равна 0,15 Гн, сила тока в ней 4А. Сколько теплоты выделится в катушке, если параллельно к ней подключить резистор с сопротивлением, во много раз большим, чем сопротивление катушки.

Задача В48. Катушка с площадью витка имеет индуктивность 20 мГн. Число витков в ней 1000, индукция магнитного поля внутри катушки 1 мТл. Найти силу тока в катушке.

Задача В49. За 5 мс в соленоиде с 500 витками магнитный поток равномерно уменьшился с 7 Вб до 9 мВб. Сопротивление проводника соленоида 100 Ом. Найти силу индукционного тока, возникшего при этом.

Задача В50. Проволочный виток, состоящий из 100 колец, пересекает однородное магнитное поле, уменьшающееся за 2 мс с 0,5 Тл до 0,1 Тл. При этом в витке возникает ЭДС индукции 8 В. Поле перпендикулярно плоскости витка. Найти радиус витка. Ответ округлить с точностью до одной сотой метра.

Задача С1. Четыре одинаковых заряда расположены в вершинах квадрата и находятся в равновесии. Заряды соединены непроводящими тонкими нитями. Сила натяжения каждой нити 10 Н. Найти силу, действующую на каждый заряд со стороны двух ближайших к нему зарядов.

Задача С2. Сторона равностороннего треугольника  $r$ . В двух его вершинах расположены два заряда, положительный и отрицательный (рис. 291). Определить напряженность поля этих зарядов в третьей вершине. Среда — вакуум.

Задача С3. Горизонтальная равномерно и положительно заряженная плоскость создает однородное электрическое поле напряженностью  $E = 5$  кВ/м. На нее с высоты  $h = 2$  м бросают вниз с начальной скоростью  $v_0 = 0,5$  м/с маленький шарик массой  $m = 50$  г, несущий положительный заряд  $q = 50$  нКл. Найти скорость шарика в момент удара о плоскость.

### **Задачи с решением по темам: колебания и волны, оптика, теория относительности, атомная физика**

Задача В1. Пружинный маятник оттянули от положения равновесия на 1,5 см и отпустили. Какой путь пройдет маятник за 1 с, если период его колебаний 0,2 с?

Задача В2. Уравнение гармонических колебаний маятника . Все величины выражены в единицах СИ. Через сколько времени, считая от момента  $t = 0$ , потенциальная энергия маятника станет равна его кинетической энергии?

Задача В3. Нить математического маятника отклонили от вертикали на угол  $\alpha$ , и при этом он поднялся на высоту  $h$  над прежним положением. Чему стала равна циклическая частота колебаний маятника, когда его отпустили

### **Кинематика материальной точки и поступательного движения твердого тела**

Задачи с решением:

Задача №1 Уравнение движения материальной точки имеет вид , где Найти координату, проекции скорости и ускорения точки в момент времени.

Задача №2 С башни в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени  $t$  с после начала движения: 1) скорость тела: 2) радиус кривизны его траектории.

Задача №3 Ускорение материальной точки изменяется по закону Найти, на каком расстоянии от начала координат точка будет находиться в момент времени.

### **Кинематика вращательного движения**

Задачи с решением:

Задача №4 Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону  $\varphi = \omega_0 t + \epsilon t^2$ , где  $\omega_0$  рад; рад/с; . Расстояние от точки до оси вращения . Найти полное ускорение материальной точки в момент времени.

Задача №5 Диск радиусом вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угловой скорости от времени задается уравнением (рад/с), где Определить для точек на ободу диска к концу первой секунды после начала движения: 1) модуль полного ускорения; 2) число оборотов, сделанных диском.

Задача №6 Точка движется по окружности радиусом с постоянным тангенциальным ускорением. Найти нормальное ускорение точки через время после начала движения, если известно, что к концу десятого оборота после начала движения линейная скорость точки.

### **Динамика поступательного движения**

Задачи с решением:

Задача №7 На гладком горизонтальном столе лежит брусок массой кг, на котором находится брусок массой = 1,0 кг. Оба бруска соединены нитью, перекинутой через невесомый блок. Какую силу нужно приложить к нижнему бруску, чтобы он начал двигаться от блока с постоянным ускорением? Коэффициент трения между брусками = 0,5. Трением между нижним бруском и столом пренебречь.

Задача №8 Два одинаковых шарика связаны невесомой нитью, перекинутой через невесомый блок, причем один из шариков погружен в сосуд с жидкостью (рис. 3.2). С какой установившейся скоростью будут двигаться шарики, если известно, что установившаяся скорость падения одиночного шарика в той же жидкости равна? Сила сопротивления жидкости пропорциональна скорости. Плотность жидкости плотность материала шариков.

Задача №9 Тормозная система развивает силу тяги, пропорциональную времени где. Пренебрегая трением, определить через какое время от момента начала торможения автомобиль массой остановится. Найти тормозной путь. К моменту торможения автомобиль имел скорость.

### **Механическая энергия. Работа. Мощность. Законы сохранения в механике**

Задачи с решением:

Задача №10 На горизонтальных рельсах стоит платформа с песком общей массой. В песок попадает снаряд массой кг. В момент попадания скорость снаряда м/с. Направление скорости снаряда сверху вниз под углом к горизонту (рис. 4.1, а). Найти модуль скорости платформы в направлении если снаряд застревает в песке.

Задача №11 Тело массой ударяется о неподвижное тело массой. Считая удар центральным и абсолютно упругим, найти, какую долю кинетической энергии передает первое тело второму при ударе.

Задача №12 Тело массой 1,0 кг под действием силы движется прямолинейно. Зависимость модуля перемещения тела от времени задана уравнением . Определить работу силы за 10 с от начала ее действия и зависимость кинетической энергии от времени.

## **Момент инерции. Закон сохранения момента импульса**

Задачи с решением:

Задача №13 Платформа в виде сплошного диска радиусом  $r$  и массой  $M$  вращается вокруг вертикальной оси с частотой  $\nu$ . В центре платформы стоит человек массой  $m$ . Какую линейную скорость относительно пола помещения будет иметь человек, если он перейдет на край платформы? Человека рассматривать как материальную точку.

Задача №14 Деревянный стержень массой  $M$  кг и длиной  $l$  может свободно вращаться в вертикальной плоскости, относительно оси проходящей через точку  $O$ , и перпендикулярной плоскости рис. 5.1. В нижний конец неподвижного стержня попадает пуля массой  $m$  кг, летевшая со скоростью  $v$  м/с, и застревает в нем. Скорость пули направлена перпендикулярно стержню и оси. Определить угловую скорость стержня в момент удара. Моментом инерции пули пренебречь.

## **Динамика вращательного движения**

Задачи с решением:

Задача №15 Через блок в виде сплошного диска, имеющего массу  $M$  г, перекинута тонкая гибкая нить, к концам которой подвешены грузы с массами  $m_1$  г и  $m_2$  г. Определить ускорение, с которым будут двигаться грузы, если их предоставить самим себе. Зрением и массой нити пренебречь.

Задача №16 Сплошной цилиндр массой  $M$  кг и радиусом  $R$  м вращается под действием тормозящего момента относительно оси, совпадающей с осью цилиндра, по закону  $\omega = \omega_0 - k t$  (рад). Определить тормозящий момент и величину силы, создающей момент .

Задача №17 Диск массой  $M$  кг, радиусом  $R$  см вращается с частотой  $\nu$  вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр. Через 20 с. под действием постоянного тормозящего момента диск остановился. Считая массу диска

равномерно распределенной, найти тормозящий момент и число оборотов, которое сделает диск до полной остановки.

## Гидродинамика в физике

Задачи с решением:

Задача №18 В горизонтальной трубе переменного сечения течет вода, В трубу впаяны две вертикальные манометрические трубки одинакового сечения (рис.7.1). Разность уровней в манометрических трубках см. Сечения трубы у основания манометрических трубок и . Пренебрегая вязкостью воды, определить ее массу, протекающую через сечение трубы за единицу времени. Плотность воды .

Задача №19 В бочку льется вода. За единицу времени вливается объем воды равный . Чему равен диаметр отверстия в дне бочки, чтобы вода в ней держалась на постоянном уровне ?

Задача №20 Стальной шарик падает с постоянной скоростью в сосуде с глицерином. Считая, что при числе Рейнольдса справедлива формула Стокса, определить предельный диаметр шарика. Плотность стали , плотность глицерина , динамическая вязкость глицерина.

## Механические колебания

Задачи с решением:

Задача №21 Частица массой кг совершает гармонические колебания с периодом . Полная энергия колеблющейся частицы . Определить амплитуду колебаний и наибольшее значение силы , действующей на частицу.

Задача №22 Физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень. Определить длину стержня, если частота его колебаний максимальна, когда точка подвеса находится от центра масс на расстоянии .

Задача №23 Тело совершает затухающие колебания частотой 50 Гц. Логарифмический декремент затухания . Определить время, за которое амплитуда колебаний тела уменьшится в 20 раз, а также число полных колебаний тела.



## **Волны в упругой среде. Звук в физике**

Задачи с решением:

Задача №24 Плоская синусоидальная волна распространяется со скоростью вдоль прямой, совпадающей с положительным направлением оси в среде, не поглощающей энергию. Две точки, находящиеся на этой прямой на расстоянии и от источника колебаний, колеблются с разностью фаз . Амплитуда волны . Определить: 1) длину волны; 2) уравнение волны; 3) смещение первой точки в момент времени .

Задача №25 Средняя молярная кинетическая энергия поступательного движения молекул азота 3400 Дж/моль. Найти скорость распространения звука в азоте.

Задача №26 При наложении двух когерентных бегущих волн с длиной волны 12 см возникает стоячая волна. Найти положение узлов и пучностей стоячей волны, если отражение происходит от менее плотной среды.

## **Статистическая физика и термодинамика. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов**

Задачи с решением:

Задача №27 В сосуде находятся молей кислорода и г. азота. Температура смеси 100 °С. При этом давление в сосуде мм. рт. ст. Найти: 1) объем сосуда, 2) парциальные давления кислорода и азота, 3) число молекул в этого сосуда.

Задача №28 Каким должно быть давление воздуха на дне скважины глубиной 8 км, если считать, что масса одного киломоля воздуха 29 кг, температура по всей высоте постоянна и равна 27 °С, а давление воздуха у поверхности Земли равно 1 атм.

Задача №29 Используя функцию распределения молекул идеального газа по относительным скоростям где определить число молекул, скорости которых меньше , если в объеме газа содержится молекул.

### **Основы термодинамики в физике**

Задачи с решением:

Задача №30 В закрытом сосуде объемом Юл находится воздух при давлении 0.1 МПа. Какое количество теплоты надо сообщить воздуху, чтобы повысить давление в сосуде в 5 раз?

Задача №31 Азот , адиабатически расширяясь, совершает работу, равную 480 кДж. Определить конечную температуру газа, если до расширения он имел температуру . Масса азота . Теплоемкость газа считать постоянной.

Задача №32 Воздух массой 1 кг совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Минимальные (начальные) значения объема и давления газа равны и 1,2 МПа. Максимальное давление газа в цикле 1,4 МПа, причем . Определить: 1) координаты пересечения изохор и изобар; 2) работу , совершенную газом за один цикл; 3) количество теплоты , полученное газом от нагревателя за цикл; 4) КПД цикла. Считать воздух двухатомным газом, имеющим молярную массу М- 0,029 кг/моль. Построить график процесса.

### **Реальные газы. Уравнение Ван-Дер-Ваальса в физике**

Задачи с решением:

Задача №33 2.0 кг азота адиабатически расширяются в вакууме от до . Найти понижение температуры при этом расширении, считая, известной для азота постоянную а, входящую в уравнение Ван-дер-Ваальса.

Задача №34 Углекислый газ массой 6,6 кг при давлении 0,1 МПа занимает объем . Определите температуру газа, если 1) газ реальный; 2) газ идеальный. Параметры и принять соответственно . Газовую постоянную принять равной универсальной газовой постоянной.

Задача №35 Найти эффективный диаметр молекул азота. Критические параметры для азота

### **Свойства жидкостей в физике**

Задачи с решением:

Задача №36 Давление воздуха внутри мыльного пузыря на больше атмосферного. Найти диаметр d пузыря. Поверхностное натяжение мыльного раствора

Задача №37 На дне стеклянного сосуда площадью имеется круглое отверстие диаметром  $d = 0,5$  мм. В сосуд налита ртуть. Какая масса ртути останется в сосуде?

Задача №38 Лабораторный ртутный термометр погружен в гильзу паропровода до отметки  $= 120$  °С и показывает  $= 360$  °С, причем температура выступающего столба ртути, найденная с помощью вспомогательного термометра,  $59$  °С.

Определить действительную температуру пара, принимая во внимание, что термометр градуирован при погружении до отсчитываемого деления.

Задача №39 Невесомое кольцо с внутренним диаметром 25 мм и внешним диаметром 26 мм подвешено на пружине (рис. 13.1) с коэффициентом упругости 0,01 Н/м и соприкасается с поверхностью жидкости. При опускании поверхности жидкости кольцо оторвалось от нее при растяжении пружины на 5,3 мм. Найти коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

## Явления переноса в физике

Задачи с решением:

Задача №40 Найти теплопроводность  $K$  воздуха при давлении  $p = 100$  кПа и температуре  $T = 283$  К. Эффективный диаметр молекулы воздуха  $d = 0,3$  нм. Считать воздух двухатомным газом, молекулярная масса которого  $M = 0,029$  кг/моль.

Задача №41 Вычислить массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен . Температура азота 290 К, а средняя длина свободного пробега его молекул равна 1 мкм.

Задача №42 Вычислить диаметр молекулы кислорода, если при температуре 0°С коэффициент вязкости кислорода составляет

Задачи по физике с решениями и ответами по всем темам

Физика (от греч. φύσις – природа), наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие свойства и законы движения объектов материального мира.

Понятия физики и её законы лежат в основе всего естествознания.

Физика — один из основных школьных предметов. Физика изучает и описывает процессы происходящие в окружающем нас мире и потому она очень интересна.

Физика также очень важна после поступления в университет, а навыки, полученные в области физики, широко используются в огромном классе университетских дисциплин во многих областях, от инженерии и науки до архитектуры и информационных технологий. Данный раздел содержит учебные материалы по физике, необходимые для успешной подготовки к получению степени доктора наук и ЕГЭ. Учебные материалы по физике включают: теорию и задачи по всем предметам школьной физики, а также справочники, дополнительные задачи и учебники по физике. Отдельная онлайн-подготовка к ЕГЭ возможна с использованием учебных материалов по физике. Для успешной подготовки к экзаменам и изучения примеров решения по физике необходимо изучить все темы школьной программы по физике, перечисленные здесь, выучить теорию и формулы, а также полностью выполнить задания по физике, перечисленные здесь.

## Кинематика

Примеры задач с решением №1:

Пример решения задачи №1. Часовой охраняет объект, огороженный квадратным забором ABCD (рис. 1-1), обходя его по периметру. Чему будут равны его путь и перемещение, если он из точки А перейдет в точку В, затем в точку С, затем в точку D, после чего вернется в точку А? Длина стороны квадрата  $a$ .

Пример решения задачи №2. Спортсмен бросил мяч с высоты  $h = 1,5$  м и поймал его на той же высоте. Чему равен путь  $S$  и перемещение мяча?

Пример решения задачи №3. Часовая стрелка показывает 12 ч. Какой путь пройдет конец стрелки и какое перемещение он совершит, когда стрелка будет показывать 6 ч вечера; 9 ч вечера? Длина стрелки  $R$ .

Пример решения задачи №4. Мяч скатился по трем ступенькам лестницы с высоты  $H = 1,2$  м. Высота каждой ступеньки равна ее ширине  $h$ . Угол наклона лестницы к горизонту  $\alpha = 45^\circ$ . Чему равны путь  $S$  и перемещение (рис. 1-3)?

Пример решения задачи №5. Тело переместилось из точки А с координатами  $(-4; 3)$  в точку В с координатами  $(4; 3)$ , а затем — в точку С с координатами  $(4; -3)$ . Определить его путь и перемещение (рис. 1-4).

Пример решения задачи №6. Мяч упал с высоты  $m$  и после удара о землю подпрыгнул на высоту  $n$ . Определить его путь  $S$  и модуль перемещения  $r$ .

Пример решения задачи №7. Определить путь  $S$  и перемещение конца минутной стрелки длиной  $l = 2$  см за  $t = 15$  мин (рис. 1-б).

Пример решения задачи №8. Построить графики движений двух тел, описываемых уравнениями см, в одной системе координат и по графикам определить, через сколько времени с момента:  $t = 0$  координата этих тел станет одинаковой и какой она будет. Время  $t$  выразить в секундах, а координату  $x$  — в сантиметрах.

Пример решения задачи №9. Материальная точка движется согласно уравнениям. Проходит ли ее траектория через точки см? Напишите уравнение траектории точки.

Пример решения задачи №10. Материальная точка движется в плоскости  $ХОУ$ , и при этом ее координаты изменяются с течением времени по закону — константа. Какова траектория точки?

Пример решения задачи №11. Автомобиль проехал км, двигаясь на север. Затем ему пришлось свернуть на восток и проехать еще км, после чего он снова повернул на север и достиг конечного пункта, проехав еще км. Найти путь  $S$  и перемещение автомобиля. На сколько путь больше модуля перемещения?

## **Равномерное прямолинейное движение**

Примеры задач с решением №2:

Пример решения задачи №12. Автомобиль прошел за мин расстояние км. Какое расстояние он пройдет за ч? Движение в обоих случаях равномерное и прямолинейное.

Пример решения задачи №13. Мотоциклист проходит некоторое расстояние в 3 раза быстрее, чем велосипедист. На сколько скорость мотоциклиста больше скорости велосипедиста, если скорость велосипедиста равна 8 м/с?

Пример решения задачи №14. Охотник стреляет в птицу, которая находится в момент выстрела на расстоянии  $L = 30$  м от него. Выстрел производится в направлении, перпендикулярном траектории полета птицы. Скорость птицы, летящей горизонтально, = 15 м/с, скорость дроби = 375 м/с. Какой путь  $S$  пролетит птица с момента выстрела до момента, когда в нее попадет дробь?

## **Равнопеременное прямолинейное движение. прямолинейное движение с переменным ускорением**

Примеры задач с решением №3:

Пример решения задачи №15. Автомобиль через  $s$  от начала движения приобретает скорость  $km/h$ . Через сколько времени от начала движения его скорость станет равна  $m/s$ ? Ускорение постоянно.

Пример решения задачи №16. Длина разбега при взлете самолета равна  $km$ , а скорость отрыва от земли =  $240 km/h$ . Длина пробега при посадке этого самолета —  $800 m$ , а посадочная скорость =  $210 km/h$ . Во сколько раз ускорение при взлете больше ускорения при посадке (по модулю)? На сколько различаются время разбега и время посадки ?

Пример решения задачи №17. Автомобиль прошел путь  $S = 10 km$  за  $t = 6 min$  с ускорением . Чему равны начальная и конечная скорости автомобиля?

### **Относительность движения. Сложение скоростей**

Примеры задач с решением №4:

Пример решения задачи №18. Катер пересекает реку, двигаясь перпендикулярно берегу со скоростью =  $4 m/s$  относительно воды. Ширина реки  $H$  —  $1000 m$ , а скорость течения реки —  $1 m/s$ . На сколько метров  $Z$ -снесет катер по течению, когда он переправится на противоположный берег? Какой путь  $S$  пройдет катер?

Пример решения задачи №19. Лодка переплывает реку, выдерживая направление перпендикулярно берегу. Скорость лодки относительно берега  $v = 1 m/s$ , скорость течения =  $0,8 m/s$ . Чему равен вектор скорости лодки относительно воды? За какое минимальное время лодка переплывает эту реку с прежней по модулю скоростью относительно воды, если ширина реки  $H = 100 m$ ? Какова при этом будет скорость лодки относительно берега ? За какое время  $t$  лодка переплывает реку, пройдя минимальный путь?

Пример решения задачи №20. Пловцу предстоит переплыть реку шириной  $H$  из точки  $M$  в точку  $N$  (рис. 4-9). Расстояние от точки  $O$ , расположенной напротив точки  $M$ ; до точки  $N$  равно  $Z$ , скорость течения . С какой минимальной скоростью относительно воды пловец может плыть, чтобы попасть в точку  $N$  на противоположном берегу?

### **Свободное падение**

Примеры задач с решением №5:

Пример решения задачи №21. За какое время  $t$  тело, начавшее свободное падение из состояния покоя, пройдет путь  $S = 19,6 m$  (рис. 5-1)? Какова будет его скорость и в конце пути и на середине пути? Какова будет средняя скорость этого тела на пути  $S$ ?

Пример решения задачи №22. На некоторой планете ускорение свободного падения на 25% меньше, чем на Земле. Во сколько раз высота свободного падения тела за одно и то же время на этой планете меньше, чем на Земле?

Пример решения задачи №23. Со скалы высотой  $H = 200$  м брошены вниз два тела: сначала одно, а затем второе. Оба тела упали на землю одновременно. На сколько времени второе тело брошено позже первого, если начальная скорость первого тела 1 равна нулю, а второго —  $v$  м/с? Падение считать свободным.

### **Криволинейное движение тел с ускорением свободного падения**

Примеры задач с решением №6:

Пример решения задачи №24. При выстреле из двустороннего пружинного пистолета (рис. 6-7) в горизонтальном направлении один снаряд вылетел со скоростью  $v = 2$  м/с. С какой скоростью вылетел второй снаряд, если они упали на землю через  $t = 0,2$  с на расстоянии  $S = 1$  м друг от друга? Сопротивлением воздуха пренебречь. Длина ствола пистолета  $l = 10$  см.

Пример решения задачи №25. Во сколько раз надо изменить скорость тела, брошенного горизонтально, чтобы при вдвое большей высоте, с которой оно брошено, получить прежнюю дальность полета? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Пример решения задачи №26. Если стрелу пустить вертикально вверх с некоторой скоростью, то она поднимется на высоту  $H$ . Чему будет равна дальность полета стрелы  $S$ , если ее пустить горизонтально с высоты  $H$  с прежней по величине скоростью? Сопротивлением воздуха пренебречь.

### **Равномерное движение по окружности**

Рассмотрим примеры задач с решением:

Пример решения задачи №27. Конец минутной стрелки часов на Спасской башне Кремля за 1 мин прошел путь  $S = 0,4$  м. Определить длину минутной стрелки кремлевских часов  $l$  (рис. 7-2).

Пример решения задачи №28. С какой угловой и линейной скоростью движутся жители Санкт-Петербурга, участвуя вместе с земным шаром в его суточном вращении? На сколько западнее приземлился бы питерский школьник, прыгнувший на высоту 1 м, если бы во время прыжка не перемещался вместе с Землей? Радиус Земли  $R = 6400$  км.

Пример решения задачи №29. Угловая скорость лопастей вентилятора  $\omega = 6,28$  рад/с. Найти число оборотов  $N$  за  $t = 30$  мин.

## Переменное и равнопеременное движения по окружности

Примеры задач с решением №7:

Пример решения задачи №30. Маховое колесо, вращаясь равноускоренно, увеличило за  $t = 4$  с частоту вращения  $\omega$ . Чему равно угловое ускорение колеса и число оборотов  $N$ , сделанных за это время?

Пример решения задачи №31. Колесо, вращаясь равноускоренно, за  $t = 10$  с сделало  $N = 20$  оборотов и при этом его угловая скорость возросла в 3 раза. Чему равно угловое ускорение колеса?

Пример решения задачи №32. Колесо, вращаясь равнозамедленно, за  $t = 5$  с уменьшило свою частоту  $\omega$  в четыре раза. Чему равен полный угол  $\phi$ , на который успело повернуться колесо за это время?

## Динамика

Примеры задач с решением №8:

Пример решения задачи №33. Поезд массой  $m$  движется равномерно и прямолинейно в горизонтальном направлении под действием силы тяги  $F$ . Ей противодействует сила сопротивления (рис. 9-1).

Пример решения задачи №34. Тело массой  $m$  равномерно перемещается в горизонтальном направлении под действием силы  $F$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (рис. 9-2). Кроме силы тяжести  $G$ , на него еще действуют сила трения  $F_{\text{тр}}$  и сила реакции опоры  $N$ .

Пример решения задачи №35. Тело под действием силы тяги движется равномерно и прямолинейно вверх по наклонной плоскости с углом наклона при основании  $\alpha$  (рис. 9-3). Силой трения можно пренебречь (например, в условии ни о силе трения, ни о коэффициенте трения ничего не сказано).

Пример решения задачи №36. Автомобиль массой  $m = 2$  т движется равномерно по горизонтальному шоссе. Найти силу тяги автомобиля  $F$ , если коэффициент сопротивления движению  $k = 0,02$ .



Пример решения задачи №37. Груз массой  $m = 100$  кг равномерно перемещают по поверхности, прилагая силу под углом к горизонту. Коэффициент трения  $\mu$ . Найти величину этой силы.

Пример решения задачи №38. Как легче передвигать тело, к которому прикреплена рукоятка, расположенная под углом к горизонту: тянуть или толкать (рис. 9-14)? Коэффициент трения тела о горизонтальную поверхность равен  $\mu$ . Определите отношение силы прилагаемой к телу, когда его тянут за рукоятку, к силе  $F$ , прилагаемой, когда его толкают перед собой.

## Переменное прямолинейное движение

Примеры задач с решением №9:

Пример решения задачи №39. Поезд массой  $m$  движется горизонтально с ускорением под действием силы тяги  $F$ . На него действует также сила сопротивления (рис. 10-3).

Пример решения задачи №40. Два тела массами  $m_1$  и  $m_2$  связаны нитью, перекинутой через невесомый блок, укрепленный на вершине наклонной плоскости (рис. 10-4).

Пример решения задачи №41. Автомобиль массой  $m$  тормозит, двигаясь с выключенным мотором, и останавливается (рис. 10-5).

Пример решения задачи №42. Два тела, связанных друг с другом, поднимают на канате вертикально вверх (рис. 10-14). Верхнее тело имеет массу  $m_1$ , нижнее — массу  $m_2$ . К канату приложена сила тяги  $F$ . Система движется равноускоренно.

Пример решения задачи №43. Поезд массой  $m = 1000$  т на пути  $S = 500$  м увеличивает скорость  $v_1 = 36$  км/ч до  $v_2 = 72$  км/ч. Коэффициент сопротивления движению  $k = 0,005$ . Найти силу тяги локомотива  $F$ , считая ее постоянной.

Пример решения задачи №44. На участке дороги, где для автотранспорта установлена предельная скорость  $v_0 = 30$  км/ч, водитель применил аварийное торможение. Инспектор ГИБДД по следу колес обнаружил, что тормозной путь  $S = 12$  м. Превысил ли водитель предельную скорость в момент начала торможения, если коэффициент торможения  $k = 0,6$ ?

Пример решения задачи №45. Автодрезина ведет равноускоренно две платформы массами  $m_1$  и  $m_2$ . Сила тяги, развиваемая дрезиной,  $F = 1,78$  кН. Коэффициент сопротивления движению  $k = 0,05$ . С какой силой натянуто сцепление между платформами?

## Равномерное движение по окружности

Примеры задач с решением №10:

Пример решения задачи №46. Автомобиль движется по вогнутому мосту равномерно, т. е. с постоянной по модулю скоростью. При этом на него действуют две силы: сила тяжести  $mg$  и сила реакции опоры, причем сила реакции опоры по модулю больше силы тяжести, ведь именно сила реакции опоры направлена по радиусу к центру окружности, который расположен вверху над мостом.

Пример решения задачи №47. Тело массой  $m$  вращается по окружности в горизонтальной плоскости, будучи подвешенным на нити (рис. 11-4). Такая система тел называется коническим маятником.

Пример решения задачи №48. Конькобежец массой  $m$  движется по окружности. Как правило, в такой задаче силой трения скольжения пренебрегают, потому что когда конек режет лед, то между ним и льдом образуется прослойка воды из-за таяния льда.

Пример решения задачи №49. Летчик массой  $m$  делает «мертвую петлю» в вертикальной плоскости. В задаче речь идет о силах давления летчика на кресло в верхней и нижней точках петли (рис. 11-6).

Пример решения задачи №50. На горизонтальной дороге автомобиль делает поворот радиусом  $R = 16$  м. Какова наибольшая величина скорости  $v$ , которую может развить автомобиль, чтобы его не занесло, если коэффициент трения скольжения колес о дорогу  $k = 0,4$ ?

Пример решения задачи №51. Конькобежец движется со скоростью  $v \sim 10$  м/с по окружности радиусом  $R = 30$  м. Под каким углом  $\alpha$  к горизонту он должен наклониться, чтобы сохранить равновесие? Трением пренебречь.

Пример решения задачи №52. С какой наибольшей скоростью  $v$  может ехать велосипедист по горизонтальной поверхности, описывая дугу радиусом  $R = 80$  м, если коэффициент трения резины о поверхность  $\mu = 0,5$ ? На какой угол  $\alpha$  от вертикального он при этом отклоняется?

## Закон всемирного тяготения

Примеры задач с решением №12:

Пример решения задачи №53. Во сколько раз планета Плутон притягивается к Солнцу слабее Земли, если Плутон удален от Солнца на расстояние, в 40 раз большее, чем Земля? Массы Земли и Плутона приблизительно одинаковы.

Пример решения задачи №54. Во сколько раз ускорение свободного падения  $g$  на расстоянии от центра Земли, равном  $n$  радиусам Земли, меньше ускорения свободного падения на земной поверхности?

Пример решения задачи №55. Расстояние между Землей и Луной равно 60 земным радиусам. В какой точке прямой, соединяющей центры Земли и Луны, ракета, движущаяся к Луне, будет притягиваться к Земле и Луне с одинаковой силой? Масса Земли в 81 раз больше массы Луны, а радиус Земли — в 3,8 раза больше радиуса Луны.

## Закон сохранения импульса

Примеры задач с решением №13:

Пример решения задачи №56. Шофер выключил двигатель в тот момент, когда скорость автомобиля была 54 км/ч. Через  $t = 2$  с скорость автомобиля упала до  $v = 18$  км/ч. Чему был равен импульс автомобиля в момент выключения двигателя? Чему равно изменение импульса автомобиля? Чему равен импульс силы сопротивления движению автомобиля? Сила сопротивления движению в течение времени была постоянна и составляет  $F = 6$  кН.

Пример решения задачи №57. Три сцепленных вагона массами  $m$ ,  $2m$  и  $3m$ , где  $m = 2$  т, движущиеся со скоростью  $v = 1,8$  км/ч, столкнулись с неподвижным вагоном, после чего они все стали двигаться со скоростью  $v = 0,9$  км/ч. Чему равна масса неподвижного вагона?

Пример решения задачи №58. Снаряд, выпущенный вертикально вверх, взорвался на максимальной высоте. При этом образовалось три осколка. Два осколка разлетелись под прямым углом друг к другу. Масса первого осколка его скорость  $v_1$ , масса второго осколка  $m_2$ , его скорость  $v_2$ . Чему равна скорость третьего осколка массой  $m_3$ ?

## Работа и мощность

Примеры задач с решением №14:

Пример решения задачи №59. Груз массой  $m$  поднимают равномерно на канате от основания наклонной плоскости к ее вершине (рис. 14-1). Длина наклонной плоскости  $l$ , высота  $h$ . Какую работу совершает человек, поднимающий груз? Чему равна работа силы тяжести? Чему равна работа силы трения, если коэффициент трения груза о плоскость равен  $\mu$ ?

Пример решения задачи №60. Подъемный кран поднимает в течение времени  $t = 2$  мин стальную плиту со скоростью  $v = 0,5$  м/с. Длина плиты  $l = 4$  м, ширина  $r = 50$  см, высота  $h = 40$  см. Какую полезную работу  $A$  совершает кран? Плотность стали

Пример решения задачи №61. Мальчик бросил вверх мяч массой  $m = 200$  г и поймал мяч при его падении в точке бросания. При этом мяч проделал путь  $S = 8$  м. Чему равна работа совершенная силой тяжести при подъеме мяча на максимальную высоту? Чему равна работа , совершенная силой тяжести при падении мяча с этой высоты? Чему равна работа , совершенная силой тяжести на всем пути, проделанном мячом?

## **Закон сохранения энергии в механике**

Примеры задач с решением №15:

Пример решения задачи №62. Тело массой  $m$  падает свободно на землю с высоты  $H$  без начальной скорости.

Пример решения задачи №63. Тело соскользнуло по желобу с высоты  $H$  без начальной скорости и описало петлю радиусом  $R$  в вертикальной плоскости (рис. 15-7). Если трение отсутствует, то суммарная потенциальная и кинетическая энергия в любой точке траектории одинакова и равна начальной потенциальной энергии в высшей точке.

Пример решения задачи №64. Найти потенциальную и кинетическую энергии тела массой  $m = 5$  кг, падающего свободно с высоты  $H = 10$  м, на расстоянии  $h = 4$  м от поверхности земли.

Пример решения задачи №65. Тело массой  $m = 5$  кг падает свободно с высоты  $H = 12$  м (см. рис. 15-10). Найти изменение его потенциальной энергии через  $t = 0,5$  с после начала падения. Начальная скорость  $= 0$ .

Пример решения задачи №66. Снаряд, получивший при выстреле начальную скорость  $= 300$  м/с, летит вертикально вверх (рис. 15-1, в). На какой высоте  $h$  его кинетическая энергия станет равна потенциальной ? Сопротивлением пренебречь.

## **Вращательное движение твердого тела**

Примеры задач с решением №16:

Пример решения задачи №67. Чему равен момент инерции  $J$  цилиндра с диаметром основания  $D$  и высотой  $h$  относительно оси , совпадающей с его образующей? Плотность материала цилиндра  $\rho$ .

Пример решения задачи №68. Обруч массой  $m = 1$  кг и радиусом  $R = 0,2$  м вращается равномерно с частотой относительно оси, проходящей через середину его радиуса перпендикулярно плоскости обруча (рис. 16-7). Определить момент импульса обруча  $L$ .

Пример решения задачи №69. Однородный диск радиусом  $R = 0,2$  м и массой  $m = 5$  кг вращается вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно плоскости диска. Зависимость угла поворота диска от времени дается уравнением, где . Вращению диска противодействует тормозящий момент сил трения . Определить величину касательной силы  $F$ , приложенной к ободу диска.

## Статика

Примеры задач с решением №17:

Пример решения задачи №70. При помощи укосины длиной  $m$  и растяжки длиной  $m$  подвешен груз весом  $P = 3$  кН (рис. 17-8). Расстояние между точками крепления укосины и растяжки к столбу  $m$ . Найти силы, с которыми груз действует на укосину и растяжку.

Пример решения задачи №71. К середине троса подвешен груз массой  $m = 50$  кг (рис. 17-9). Угол, образованный половинками троса, . Найти силу натяжения каждой половинки троса. Чему равно удлинение троса, если в нерастянутом состоянии его длина  $m$ ? Чему равно провисание троса  $h$ ?

Пример решения задачи №73. К канату, концы которого закреплены на одной высоте, подвешены два груза массами  $m$  в 2 кг каждый. Точки подвеса грузов расположены на расстояниях  $r = 0,1$  м от точек закрепления каната (рис. 17-10). Вследствие растяжения провисание каната составило  $h = 20$  см. Найти силы натяжения участков каната.

## Гидроаэромеханика

Примеры задач с решением №18:

Пример решения задачи №74. Определить давление  $p$  воды на стенку цилиндрического сосуда с диаметром основания  $D = 20$  см на расстоянии  $l = 5$  см от дна. Объем воды в сосуде  $V = 10$  л, плотность воды

Пример решения задачи №75. Канал перегорожен плотиной, ширина которой  $r=8$  м и высота  $H = 6$  м. Глубина канала  $h$  равна половине высоты плотины. С какой силой  $F$  вода давит на плотину? Плотность воды

Пример решения задачи №76. Чему равны силы атмосферного давления на боковую стену девятиэтажного здания и на его плоскую крышу, если высота каждого этажа  $h$ , длина здания  $l$  и ширина  $r$ ? Атмосферное давление .

## Закон Архимеда. Плавание тел

Примеры задач с решением №19:

Пример решения задачи №77. Деревянный шар покоится в сосуде с водой, будучи наполовину погруженным в нее (рис. 19-1). С какой силой  $F$  шар давит на дно сосуда? Плотность воды , плотность дерева . Диаметр шара  $D = 50$  см.

Пример решения задачи №78. Под днище плоскодонной лодки попала доска толщиной  $h = 8$  см, длиной  $l = 2$  м и шириной  $r = 60$  см. Какую минимальную горизонтальную силу  $F$  нужно приложить к доске, чтобы вытащить ее из-под днища, если коэффициент трения между днищем и доской  $= 0,6$ ? Плотности воды и дерева взять из условия предыдущей задачи. Соппротивлением воды пренебречь.

Пример решения задачи №79. Вес однородного тела в воде в  $n$  раз меньше, чем в воздухе. Найти плотность тела Плотность воды известна, выталкивающей силой в воздухе пренебречь.

## Течение жидкости. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли

Примеры задач с решением №20:

Пример решения задачи №80. Максимально допустимая скорость течения воды в трубе  $m/s$  . Чему равен минимальный диаметр трубы при расходе воды ?

Пример решения задачи №81. Сосуд с водой, двигаясь равноускоренно без начальной скорости, проходит расстояние  $S = 10\text{ м}$  за  $t = 10\text{ с}$ . Под каким углом  $\alpha$  к горизонту расположится при этом поверхность воды? Чему равно гидростатическое давление воды  $p$  в точке  $M$ , расположенной на расстоянии  $l = 4\text{ см}$  от поверхности жидкости по горизонтали. Чему равна выталкивающая сила действующая на тело объемом  $V$ , погруженное в этот сосуд? Плотность воды  $\rho$ .

Пример решения задачи №82. Определить минимальную мощность насоса  $N$ , поднимающего воду по трубе на высоту  $H = 10\text{ м}$ , если площадь поперечного сечения трубы  $S$  и за каждую секунду насос поднимает  $m = 8\text{ кг}$  воды. Плотность воды  $\rho$ .

## Молекулярная физика и термодинамика

Примеры задач с решением №21:

Пример решения задачи №83. Чему равен объем  $v = 50$  молей ртути? Молярная масса ртути  $M = 0,201\text{ кг/моль}$ , плотность ртути  $\rho$ .

Пример решения задачи №84. На изделие, имеющее форму круглой пластинки диаметром  $d = 2\text{ см}$ , нанесен слой меди толщиной  $h = 2\text{ мкм}$ . Найти число атомов меди  $N$ , содержащихся в этом покрытии. Плотность меди  $\rho$ , молярная масса меди  $M = 0,064\text{ кг/моль}$ .

Пример решения задачи №85. Если бы все молекулы водорода, содержащиеся в  $m = 10\text{ мг}$  этого газа, расположили вплотную друг к другу по цепочке, то какова была бы длина  $l$  этой цепочки? Диаметр молекулы водорода  $d = 2,3\text{ \AA}$ , молярная масса водорода  $M$  кг/моль. Во сколько раз длина этой цепочки больше расстояния от Земли до Луны  $L = 384\text{ Мм}$  (мегаметров)?

## Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Объединенный газовый закон

Примеры задач с решением №22:

Пример решения задачи №86. Из-за неисправности вентиля из баллона вытекает газ. Найти массу вытекшего газа, если вначале масса была  $m_1$ , а из-за утечки газа давление в баллоне уменьшилось в  $n$  раз.

Пример решения задачи №87. Ампула объемом  $V$ , содержащая воздух при нормальных условиях, оставлена в космосе, где давление можно принять равным нулю. В ампуле пробито отверстие. Через какое время  $t$  давление в ампуле тоже станет равным нулю, если за каждую секунду из нее вылетает молекул  $N$ ?

Пример решения задачи №88. Воздух объемом  $V = 100$  л при температуре  $t^\circ = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 1$  МПа превратили в жидкость. Какой объем он займет в жидком состоянии? Плотность жидкого воздуха, его молярная масса в любом состоянии  $M = 0,028$  кг/моль.

## Изопрцессы в идеальном газе. Основные газовые законы и их графики

Примеры задач с решением №23:

Пример решения задачи №89. При сжатии газа его объем уменьшился на 2 л, а давление увеличилось в 2 раза. Найти первоначальный объем газа

Пример решения задачи №90. Если давление газа изотермически повысить на  $\Delta p = 1,5$  атм, то его объем уменьшится на  $\Delta V$  л, а если давление увеличить по сравнению с первоначальным на  $\Delta p$  атм, то объем газа уменьшится на  $\Delta V$  л. Найти первоначальные давления и объем газа.

Пример решения задачи №91. Солдат пьет воду из фляжки, плотно прижав ее к губам. Вместимость фляжки (т. е. ее объем)  $V = 0,5$  л, а вода заполняет ее на  $2/3$ . Сколько воды, выпил солдат, если давление оставшегося в ней воздуха понизилось на  $\Delta p$  кПа? Атмосферное давление нормальное.



## **Средняя длина свободного пробега и число столкновений молекул в единицу времени. Влажность**

Примеры задач с решением №24:

Пример решения задачи №92. Одним из компонентов топлива в двигателе ракеты является жидкий водород, плотность которого в момент закипания . Определить среднюю длину свободного пробега молекул водорода при этом, если эффективный диаметр молекулы водорода нм (нанометров). Молярная масса водорода  $M = 0,002$  кг/моль. Газ считать идеальным.

Пример решения задачи №93. В сосуде находится кислород при нормальных условиях. Найти среднее число столкновений молекул в этом объеме за время  $t = 2$  с. Эффективный диаметр молекулы кислорода нм. Молярная масса кислорода  $M = 0,032$  кг/моль.

Пример решения задачи №94. Давление атомарного водорода в космическом пространстве примерно Па при температуре  $T = 125$  К, эффективный диаметр его молекул нм. Найти, какое время  $t$  в среднем движется молекула водорода между последовательными столкновениями. Молярная масса водорода  $M = 0,002$  кг/моль.

## **Конденсированные состояния**

Примеры задач с решением №25:

Пример решения задачи №95. В опыте, изображенном на рис. 25-1, длина подвижной перемычки  $l = 4$  см. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы переместить ее на расстояние  $x = 1$  см? Мыльная пленка, натянутая на проволочный каркас, имеет поверхностное натяжение  $\sigma = 40$  мН/м.

Пример решения задачи №96. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы каплю ртути диаметром в 5 мм разделить пополам? Поверхностное натяжение ртути  $\sigma = 510$  мН/м.

Пример решения задачи №97. Мыльный пузырь имеет радиус  $R = 4$  см. Найти разницу между давлением воздуха внутри пузыря и снаружи. Поверхностное натяжение  $\sigma = 0,04$  Н/м.

## Внутренняя энергия и количество теплоты. Уравнение теплового баланса

Примеры задач с решением №26:

Пример решения задачи №98. Для ванны необходимо приготовить  $V = 320$  л воды при температуре  $t^\circ = 40^\circ\text{C}$ . Из горячего крана смесителя идет вода при  $= 70^\circ\text{C}$ , а из холодного — при  $= 15^\circ\text{C}$ . Сколько горячей и холодной воды нужно влить, чтобы приготовить ванну?

Пример решения задачи №99. Нагретое до температуры  $= 90^\circ\text{C}$  тело опустили в сосуд с водой, и при этом температура воды повысилась. До какой температуры нагреется эта вода, если после этого в нее, не вынимая первого тела, опустить еще такое же тело, тоже нагретое до температуры  $= 90^\circ\text{C}$  ?

Задача №100 В сосуд с водой массой  $= 250$  г при температуре  $= 18^\circ\text{C}$ , опустили медную гирику массой  $= 100$  г, нагретую до  $= 90^\circ\text{C}$ . После этого в сосуде установилась температура  $= 20^\circ\text{C}$ . Удельная теплоемкость воды  $= 4186$  Дж/(кг • К), удельная теплоемкость меди  $= 380$  Дж/(кг • К). Определить теплоемкость сосуда .

## Процессы взаимного перехода механической и тепловой энергий

Примеры задач с решением №27:

Задача №101 Найти изменение внутренней энергии воды массой  $m = 2$  кг, взятой при , при превращении ее в пар при . Удельная теплоемкость воды  $c =$  Дж/(кг • К), удельная теплота парообразования воды Дж/кг.

Задача №102 Воду для ванной нагревают с помощью газового нагревателя мощностью  $N = 20$  кВт. Какое время  $t$  будет нагреваться вода для ванны объемом л от  $= 18^\circ\text{C}$  до  $= 38^\circ\text{C}$ ? Каков будет при этом расход газа (т. е. объем сгоревшего газа)? Удельная теплоемкость воды Дж/(кг • К), удельная теплота сгорания газа , КПД нагревателя , плотность воды .

Задача №103 Для охлаждения пулемета во время стрельбы в его кожух наливают  $V = 5$  л воды при  $= 10^\circ\text{C}$ . За каждую  $= 1$  с пулемет производит  $N = 10$  выстрелов. При этом в патроне сгорает  $= 3$  г пороха. За какое время  $t$  выкипит вся вода в

кожухе, если КПД процесса теплообмена  $\eta$ , а КПД пулемета  $\eta_1$ ? С какой скоростью и вылетает пуля из ствола пулемета, если ее масса  $m$ ? Удельная теплота сгорания пороха  $q = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/кг, плотность воды  $\rho$ , температура кипения воды  $T_{кип} = 100^\circ\text{C}$ , удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг  $\cdot$  К), удельная теплота парообразования воды  $q_{пар}$  Дж/кг. Стрельба производится непрерывно.

### **Работа при изменении объема газа. Первый закон термодинамики. Тепловые двигатели**

Примеры задач с решением №28:

Задача №104 При уменьшении объема одноатомного газа вдвое его давление увеличилось на 25%. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия этого газа?

Задача №105 Какова внутренняя энергия идеального одноатомного газа  $\nu$ , занимающего объем  $V$  при температуре  $T$ , если концентрация его молекул  $n$ ?

Задача №106 Найти изменение внутренней энергии воды массой  $m$ , взятой при  $T_1$ , при превращении ее в пар с температурой  $T_2$ ? Удельная теплоемкость воды  $c$  Дж/(кг  $\cdot$  К), удельная теплота парообразования воды  $q_{пар}$  Дж/кг.

## Приложение.

### Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования.

#### Закон кулона

1 Два одинаковых точечных заряда  $q$  взаимодействуют в вакууме с силой  $F=0,1$  Н. Расстояние между зарядами  $r = 6$  м. Найти эти заряды.

Решение:

По закону Кулона  $q = r\sqrt{\varepsilon F / k} = 0,2 \text{ мкКл}$ , где  $k = 1/4\pi\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ .

2 Какое число  $N$  электронов содержит заряд в одну единицу заряда в системе единиц СИ (1 Кл)? Элементарный заряд  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .

Решение:

$N = q / e \approx 6,25 \cdot 10^{18}$  электронов.

3 Два точечных заряда  $q_1$  и  $q_2$  находятся на расстоянии  $r$  друг от друга. Если расстояние между ними уменьшается на величину  $\Delta r = 50$  см, то сила взаимодействия  $F$  увеличивается в два раза. Найти расстояние  $r$ .

Решение:

$r = \Delta r(2 + \sqrt{2}) \approx 1,71 \text{ м}$

4 Тонкая шелковая нить выдерживает максимальную силу натяжения  $T=10$  мН. На этой нити подвешен шарик массы  $m = 0,6$  г, имеющий положительный заряд  $q_1 = 11$  нКл. Снизу в направлении линии подвеса к нему подносят шарик, имеющий отрицательный заряд  $q_2 = -13$  нКл. При каком расстоянии  $r$  между шариками нить разорвется?

Решение:

$r < \sqrt{k|q_1 q_2| / (T - mg)} = 1,8 \text{ см}$ .

5 Отрицательный точечный заряд  $Q$  расположен на прямой, соединяющей два одинаковых положительных точечных заряда  $q$ . Расстояния между отрицательным зарядом и каждым из положительных относятся между собой, как 1:3. Во сколько раз изменится сила, действующая на отрицательный заряд, если его поменять местами с ближайшим положительным?

Решение:

Положительные заряды  $q$  могут быть расположены как по обе стороны от отрицательного заряда  $Q$ , так и по одну сторону от него. Отношение сил в первом и втором случаях:

$$F_1' : F_1 = \frac{17}{16} k \frac{qQ}{r^2} : \frac{8}{9} k \frac{qQ}{r^2} \approx 1,2$$

$$F_2' : F_2 = \frac{3}{4} k \frac{qQ}{r^2} : \frac{10}{9} k \frac{qQ}{r^2} \approx 0,675$$

где  $r$  – расстояние от заряда  $Q$  до ближайшего положительного заряда  $q$ .

6 Два отрицательных точечных заряда  $q_1 = -9$  нКл и  $q_2 = -36$  нКл расположены на расстоянии  $r=3$  м друг от друга. Когда в некоторой точке поместили заряд  $q_0$ , то все три заряда оказались в равновесии. Найти заряд  $q_0$  и расстояние между зарядами  $q_1$  и  $q_0$ .

Решение:

Обозначим модуль силы буквой  $F$  с двумя индексами, первый из которых показывает, на какой заряд действует сила, а второй со стороны какого заряда она действует (например,  $F_{01}$  – сила, действующая на заряд  $q_0$  со стороны заряда  $q_1$ ). Возьмем в качестве координатной оси  $Ox$  прямую, проходящую через заряды  $q_1$  и  $q_2$  (рис. 324). За начало отсчета  $O$  примем точку, где находится заряд  $q_1$  а за положительное направление от заряда  $q_1$  к заряду  $q_2$ . Закон Кулона (в нашей записи) дает возможность определить лишь модуль вектора силы, а знак проекции вектор будет, как обычно, положительным, если сила направлена в положительном направлении оси  $Ox$ , и отрицательным в противном случае.

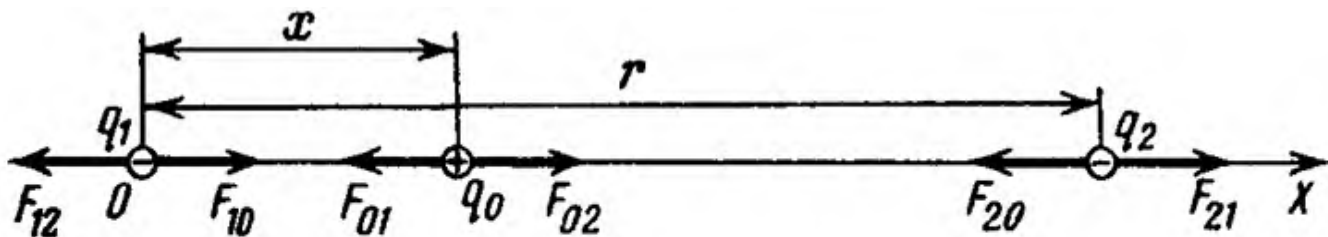


Рис. 324

На каждый из трех зарядов действуют со стороны двух других по две силы. Для равновесия необходимо, чтобы эти две силы были противоположными по направлению. Легко видеть, что это условие выполняется лишь в случае, когда заряд  $q_0$  находится на оси  $Ox$  между зарядами  $q_1$  и  $q_2$  и имеет противоположный по сравнению с  $q_1$ , и  $q_2$  знак. Пусть расстояние между зарядами  $q_1$  и  $q_0$  равно  $x$  ( $0 < x < r$ ). Тогда (рис. 324):

а) на  $q_0$  действуют силы

$$F_{01} = |kq_0q_1/x^2| \text{ и } F_{02} = |kq_0q_2/(r-x)^2|$$

б) на  $q_1$  действуют силы

$$F_{10} = |kq_1q_0/x^2| \text{ и } F_{12} = |kq_1q_2/r^2|$$

в) на  $q_2$  действуют силы

$$F_{20} = |kq_2q_0/(r-x)^2| \text{ и } F_{21} = |kq_2q_1/r^2|$$

При равновесии всех трех зарядов:

$$\text{а) } -F_{01} + F_{02} = 0; \text{ б) } -F_{12} + F_{10} = 0; \text{ в) } F_{21} - F_{20} = 0.$$

Условие а) приводит к квадратному уравнению относительно  $x$ :

$$x^2 + \frac{2|q_1|}{|q_2| - |q_1|} rx - \frac{|q_1|}{|q_2| - |q_1|} r^2 = 0$$

Для корней этого уравнения

$$x_{1,2} = \frac{-|q_1| \pm \sqrt{|q_1| \cdot |q_2|}}{|q_2| - |q_1|} r$$

выполняются условия:  $0 < x_1 < r$  в любом случае;  $x_2 < 0$  при  $|q_2| > |q_1|$ ;  $x_2 > r$  при  $|q_2| < |q_1|$ . Второй корень должен быть отброшен, как не удовлетворяющий условиям равновесия. Таким образом.

$$x = x_1 = \frac{\sqrt{|q_1| \cdot |q_2|} - |q_1|}{|q_2| - |q_1|} r \approx 1 \text{ м}$$

Условие б) дает  $|q_0q_1|/x^2 = |q_1q_2|/r^2$  отсюда

$$|q_0| = \frac{|q_2|x^2}{r^2} = \frac{|q_2|(\sqrt{|q_1| \cdot |q_2|} - |q_1|)^2}{(|q_2| - |q_1|)^2} \approx 4 \text{ нКл}$$

7 Три одинаковых точечных заряда  $q = 20$  нКл расположены в вершинах равностороннего треугольника. На каждый заряд действует сила  $F = 10$  мН. Найти длину  $a$  стороны треугольника.

Решение:

Каждый заряд  $q$  взаимодействует с двумя другими зарядами  $q$ , расположенными на расстоянии  $a$  от рассматриваемого (рис. 325).

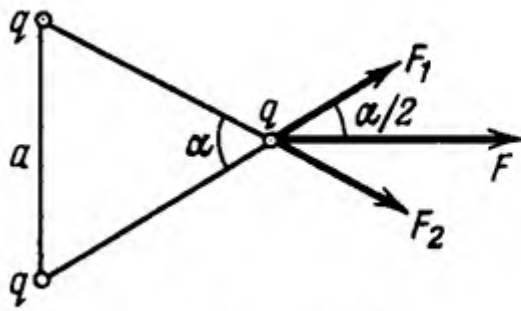


Рис. 325

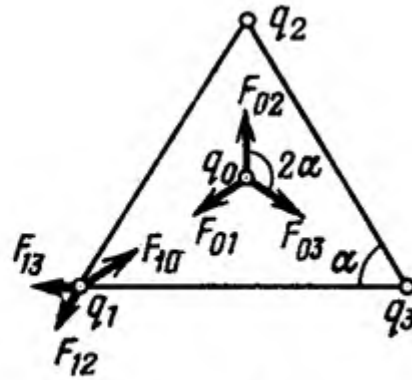


Рис. 326

Поэтому на любой заряд действуют две равные по модулю силы  $F_1 = F_2 = kq^2 / a^2$ . Равнодействующая этих сил (проекция векторной суммы этих сил на диагональ параллелограмма)

$$F = \frac{2kq^2}{a^2} \cos(\alpha/2); \text{ отсюда } a = q \sqrt{\frac{2k \cos(\alpha/2)}{F}} = 2,5 \text{ см.}$$

8 Три одинаковых точечных заряда  $q_1 = q_2 = q_3 = 9 \text{ нКл}$  расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой точечный заряд  $q_0$  нужно поместить в центре треугольника, чтобы система находилась в равновесии?

Решение:

На заряд  $q_1$  действуют две равные по модулю силы со стороны зарядов  $q_2$  и  $q_3$ , а также сила со стороны заряда  $q_0$  (рис.326). Ввиду равенства зарядов  $q_1 = q_2 = q_3 = q$  получаем  $q_0 = \sqrt{3}q/3 = 5,2 \text{ нКл}$ . На заряд  $q_0$  действуют три равные по модулю силы, равнодействующая которых равна нулю.

9 Четыре одинаковых точечных заряда  $q = 10 \text{ нКл}$  расположены в вершинах квадрата со стороной  $a = 10 \text{ см}$ . Найти силу, действующую со стороны трех зарядов на четвертый.

Решение:

Каждый заряд  $q$  взаимодействует с тремя другими зарядами  $q$ , два из которых находятся на расстоянии  $a$  от рассматриваемого, а один – на расстоянии  $r = a / \cos \alpha = \sqrt{2}a$  (рис. 327). Поэтому на любой заряд действуют три силы:  $F_1 = F_3 = kq^2 / a^2$ ;  $F_2 = kq^2 / (\sqrt{2}a)^2$ . Равнодействующая этих сил (проекция векторной суммы этих сил на диагональ квадрата)

$$F = 2F_1 \cos \alpha + F_2 = \sqrt{2}kq^2 / a^2 + kq^2 / 2a^2 = 172 \text{ мкН}$$

и направлена по диагонали квадрата от его центра.

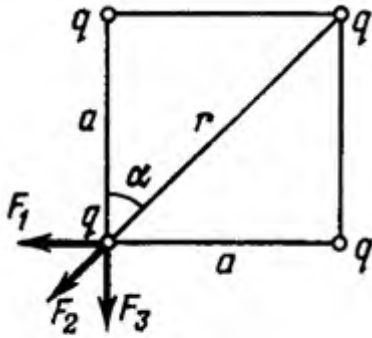


Рис. 327

10 Четыре одинаковых по модулю точечных заряда  $|q| = 20$  нКл, два из которых положительны, а два отрицательны, расположены в вершинах квадрата со стороной  $a = 20$  см так, как показано на рис. 69. Найти силу, действующую на помещенный в центре квадрата положительный точечный заряд  $q_0 = 20$  нКл.

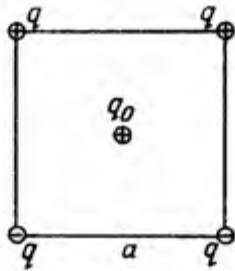


Рис. 69

Решение:

На заряд  $q_0$  действуют четыре силы, направленные попарно по двум диагоналям квадрата (рис. 328) и равные по модулю  $F_0 = kq_0q/r^2$  ( $r = a/\sqrt{2}$  — половина диагонали квадрата). Равнодействующая этих сил

$$F = 4F_0 \cos \alpha = 8kq_0q \cos \alpha / a^2 \approx 509 \text{ мкН}$$

где  $\alpha = 45^\circ$  — угол между диагональю и направлением равнодействующей.

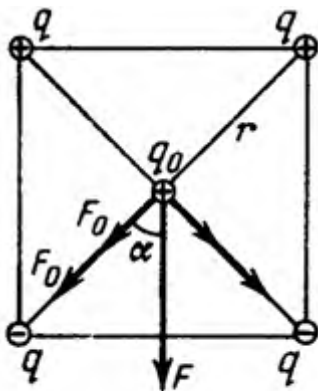


Рис. 328



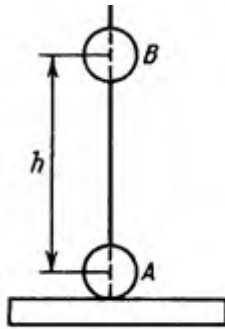


Рис. 70

## Напряженность электрического поля

1 На каком расстоянии  $r$  от точечного заряда  $q = 0,1$  нКл, находящегося в дистиллированной воде (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 81$ ), напряженность электрического поля  $E = 0,25$  В/м?

Решение:

Напряженность электрического поля, создаваемая точечным зарядом,

$$E = kq/\epsilon r^2;$$

отсюда

$$r = \sqrt{kq/\epsilon E} = 2,1 \text{ м}$$

2 В центре проводящей сферы помещен точечный заряд  $q = 10$  нКл. Внутренний и внешний радиусы сферы  $r = 10$  см и  $R = 20$  см. Найти напряженности электрического поля у внутренней ( $E_1$ ) и внешней ( $E_2$ ) поверхностей сферы.

Решение:

Заряд  $q$ , находящийся в центре сферы, индуцирует на внутренней поверхности сферы заряд  $-q$ , а на внешней поверхности – заряд  $+q$ . Индуцированные заряды ввиду симметрии распределены равномерно. Электрическое поле у внешней поверхности сферы совпадает с полем точечного заряда, равного сумме всех зарядов (находящегося в центре и индуцированных), т. е. с полем точечного заряда  $q$ . Следовательно,

$$E_2 = kq/R^2 = 2,25 \text{ кВ/м.}$$

Заряды, распределенные равномерно по сфере, внутри этой сферы электрического поля не создают. Поэтому внутри сферы поле будет создаваться лишь зарядом, помещенным в центре. Следовательно,

$$E_1 = kq/r^2 \approx 9 \text{ кВ/м.}$$

3 Одинаковые по модулю, но разные по знаку заряды  $|q| = 18$  нКл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a = 2$  м. Найти напряженность электрического поля  $E$  в третьей вершине треугольника.

Решение:

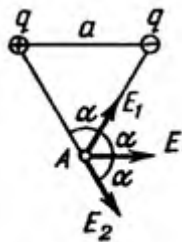


Рис. 333

Напряженность электрического поля  $E$  в третьей вершине треугольника (в точке  $A$ ) является векторной суммой напряженностей  $E_1$  и  $E_2$ , создаваемых в этой точке положительным и отрицательным зарядами. Эти напряженности равны по модулю:  $E_1 = E_2 = kq/a^2$ , и направлены под углом  $2\alpha = 120^\circ$  друг к другу. Результирующая этих напряженностей равна по модулю

$$E = 2k|q|\cos\alpha/a^2 = 40,5 \text{ В/м}$$

(рис. 333), параллельна линии, соединяющей заряды, и направлена в сторону отрицательного заряда.

4 В вершинах при острых углах ромба, составленного из двух равносторонних треугольников со стороной  $a$ , помещены одинаковые положительные заряды  $q_1 = q_2 = q$ . В вершине при одном из тупых углов ромба помещен положительный заряд  $Q$ . Найти напряженность электрического поля  $E$  в четвертой вершине ромба.

Решение:

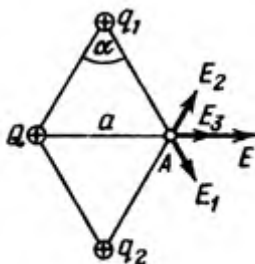


Рис. 334

Напряженность электрического поля в четвертой вершине ромба (в точке  $A$ ) является векторной суммой напряженностей (рис. 334), создаваемых в этой точке зарядами  $q_1$ ,  $q_2$  и  $Q$ :  $E = E_1 + E_2 + E_3$ . По модулю напряженности

$$E_3 = kQ/a^2, \quad E_1 = E_2 = kq/a^2,$$

причем направления напряженностей  $E_1$  и  $E_2$  составляют с направлением напряженности  $E_3$  одинаковые углы  $\alpha = 60^\circ$ . Результирующая напряженность направлена вдоль короткой диагонали ромба от заряда  $Q$  и равна по модулю

$$E = kQ/a^2 + 2k(q/a^2)\cos\alpha = k(q+Q)/a^2.$$

5 Решить предыдущую задачу, если заряд  $Q$  отрицателен, в случаях, когда: а)  $|Q| < q$ ; б)  $|Q| = q$ ; в)  $|Q| > q$ .

Решение:

Напряженности электрического поля  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ , создаваемые зарядами  $q_1$ ,  $q_2$  и  $Q$  в заданной точке, имеют модули, найденные в задаче 4, однако напряженность  $E_3$  направлена в противоположную сторону, т. е. к заряду  $Q$ . Таким образом, направления напряженностей  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$  составляют между собой углы  $2\alpha=120^\circ$ .

а) При  $|Q| < q$  искомая напряженность

$$E = k(q - |Q|) / a^2$$

и направлена вдоль короткой диагонали ромба от заряда  $Q$ ; б) при  $|Q| = q$  напряженность  $E = 0$ ; в) при  $|Q| > q$  напряженность

$$E = k(|Q| - q) / a^2$$

и направлена вдоль короткой диагонали ромба к заряду  $Q$ .

6 Диагонали ромба  $d_1 = 96$  см и  $d_2 = 32$  см. На концах длинной диагонали расположены точечные заряды  $q_1 = 64$  нКл и  $q_2 = 352$  нКл, на концах короткой – точечные заряды  $q_3 = 8$  нКл и  $q_4 = 40$  нКл. Найти модуль и направление (относительно короткой диагонали) напряженности электрического поля в центре ромба.

Решение:

Напряженности электрического поля в центре ромба, создаваемые соответственно зарядами  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  и  $q_4$ ,

$$E_1 = 4kq_1/d_1^2 \quad E_2 = 4kq_2/d_1^2 \quad E_3 = 4kq_3/d_2^2 \quad E_4 = 4kq_4/d_2^2$$

Напряженность в центре ромба

$$E = \sqrt{(E_2 - E_1)^2 + (E_4 - E_3)^2} = \left( \frac{4k}{d_1^2 d_2^2} \right) \sqrt{(q_2 - q_1)^2 d_2^4 + (q_4 - q_3)^2 d_1^4} = 15,9 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$$

Угол  $\alpha$  между направлением этой напряженности и короткой диагональю ромба определяется выражением

$$\operatorname{tg} \alpha = (E_2 - E_1) / (E_4 - E_3) = (q_2 - q_1) d_2^2 / (q_4 - q_3) d_1^2 = 1 \text{ т. е. } \alpha = 45^\circ.$$

7 Какой угол  $\alpha$  с вертикалью составит нить, на которой висит шарик массы  $m = 25$  мг, если поместить шарик в горизонтальное однородное электрическое поле с напряженностью  $E = 35$  В/м, сообщив ему заряд  $q = 7$  мкКл?

Решение:

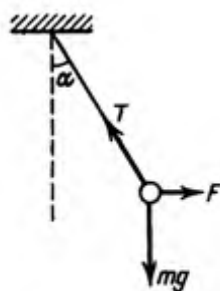


Рис. 335

На шарик действуют: сила тяжести  $mg$ , сила  $F=qE$  со стороны электрического поля и сила натяжения нити  $T$  (рис. 335). При равновесии шарика суммы проекций сил на вертикальное и горизонтальное направления равны нулю:

$$T \cos \alpha - mg = 0, \quad -T \sin \alpha + qE = 0; \quad \text{отсюда } \operatorname{tg} \alpha = qE/mg \approx 1, \quad \text{т. е. } \alpha \approx 45^\circ.$$

8 Шарик массы  $m = 0,1$  г закреплен на нити, длина которой  $l$  велика по сравнению с размерами шарика. Шарик сообщают заряд  $q=10$  нКл и помещают в однородное электрическое поле с напряженностью  $E$ , направленной вверх. С каким периодом будет колебаться шарик, если сила, действующая на него со стороны электрического поля, больше силы тяжести ( $F > mg$ )? Какой должна быть напряженность поля  $E$ , чтобы шарик колебался с периодом  $T_0 = 2\pi\sqrt{l/g}$ ?

Решение:



Рис. 336

На шарик действуют: сила тяжести  $mg$  и сила  $F=qE$  со стороны электрического поля, направленная вверх. Так как по условию  $F > mg$ , то при равновесии шарик (рис. 336) будет находиться у верхнего конца вертикально натянутой нити (рис. 336). Равнодействующая сил  $F$  и  $mg$ , если бы шарик был свободен, вызвала бы ускорение  $a=qE/m-g$ , которое, так же как и ускорение свободного падения  $g$ , не зависит от положения шарика. Поэтому поведение шарика будет описываться теми же формулами, что и поведение шарика под действием силы тяжести без электрического поля (при прочих равных условиях), если только в этих формулах  $g$  заменить на  $a$ . В частности, период колебаний шарика на нити

$$T = 2\pi\sqrt{l/a} = 2\pi\sqrt{ml/(qE - mg)}.$$

При  $T = T_0$  должно выполняться условие  $a=g$ . Следовательно,  $E=2mg/q = 196$  кВ/м.

9 Шарик массы  $m = 1$  г подвешен на нити длины  $l=36$  см. Как изменится период колебаний шарика, если, сообщив ему положительный или отрицательный заряд  $|q| = 20$  нКл, поместить шарик в однородное электрическое поле с напряженностью  $E=100$ кВ/м, направленной вниз?

Решение:

При наличии однородного электрического поля с напряженностью  $E$ , направленной вниз, период колебаний шарика (см. задачу 8)

$$T = 2\pi\sqrt{ml/(mg + |q|E)}.$$

В отсутствие электрического поля

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1,20 \text{ с.}$$

Для положительного заряда  $q$  период  $T_2 = 1,10\text{с}$ , а для отрицательного  $T_2=1,35\text{с}$ . Таким образом, изменения периода в первом и втором случаях будут  $T_1-T_0=-0,10\text{с}$  и  $T_2-T_0=0,15\text{с}$ .

10 В однородном электрическом поле с напряженностью  $E=1\text{ МВ/м}$ , направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к вертикали, висит на нити шарик массы  $m = 2\text{ г}$ , несущий заряд  $q= 10\text{ нКл}$ . Найти силу натяжения нити  $T$ .

Решение:

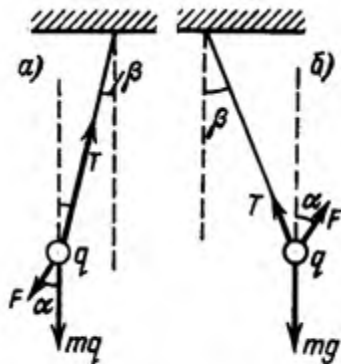


Рис. 337

На шарик действуют: сила тяжести  $mg$ , сила  $F=qE$  со стороны электрического поля и сила натяжения нити  $T$  (рис. 337). Возможны два случая: а) напряженность поля направлена вниз; б) напряженность поля направлена вверх. При равновесии шарика

$$T\cos\beta = mg \pm qE\cos\alpha, \quad T\sin\beta = qE\sin\alpha,$$

где знак плюс относится к случаю а), а знак минус – к случаю б);  $\beta$  – угол между направлением нити и вертикально. Исключая из этих уравнений  $\beta$ , найдем

$$T = \sqrt{(mg)^2 \pm 2qmgE\cos\alpha + (qE)^2}$$

При этом: а)  $T=28,7\text{ мН}$ , б)  $T=12,0\text{ мН}$ .

### Потенциал. Работа электрических сил

1 Найти потенциал шара радиуса  $R = 0,1\text{ м}$ , если на расстоянии  $r=10\text{м}$  от его поверхности потенциал электрического поля  $\varphi_r = 20\text{В}$

Решение:

Поле вне шара совпадает с полем точечного заряда, равною заряду  $q$  шара и помещенного в его центре. Поэтому потенциал в точке, находящейся на расстоянии  $R + r$  от центра шара,  $j_r = kq/(R + r)$ ; отсюда  $q = (R + r)j_r/k$ . Потенциал на поверхности шара

$$\varphi = kq/R = (R + r)\varphi_r / R = 2,02\text{кВ}.$$

2 N одинаковых шарообразных капелек ртути одноименно заряжены до одного и того же потенциала  $j$ . Каков будет потенциал  $\Phi$  большой капли ртути, получившейся в результате слияния этих капелек?

Решение:

Пусть заряд и радиус каждой капельки ртути равны  $q$  и  $r$ . Тогда ее потенциал  $j = kq/r$ . Заряд большой капли  $Q = Nq$ , и если ее радиус равен  $R$ , то ее потенциал  $\Phi = kQ/R = kNq/R = Njr/R$ . Объемы маленькой и большой

капель  $v = 4\pi r^3/3$  и  $V = 4\pi R^3/3$  связаны между собой соотношением  $V = Nu$ .

Следовательно,  $r/R = 1/N^{1/3}$  и потенциал

$$\Phi = N\varphi / N^{1/3} = N^{2/3}\varphi$$

3 В центре металлической сферы радиуса  $R = 1$  м, несущей положительный заряд  $Q = 10$  нКл, находится маленький шарик с положительным или отрицательным зарядом  $|q| = 20$  нКл. Найти потенциал  $j$  электрического поля в точке, находящейся на расстоянии  $r = 10R$  от центра сферы.

Решение:

В результате электростатической индукции на внешней и внутренней поверхностях сферы появятся равные по модулю, но противоположные по знаку заряды (см. [задачу 25](#) и рис. 332). Вне сферы потенциалы электрических полей, создаваемых этими зарядами, в любой точке равны по модулю и противоположны по знаку. Поэтому потенциал суммарного поля индуцированных зарядов равен нулю. Таким образом, остаются лишь поля, создаваемые вне сферы зарядом  $Q$  на ее поверхности и зарядом шарика  $q$ . Потенциал первого поля в точке

удаленной от центра сферы на расстояние  $r$ ,  $\varphi_1 = kQ/r = kQ/10R$ , а потенциал

второго поля в той же точке  $\varphi_2 = kq/r = kq/10R$ . Полный

потенциал  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = k(Q+q)/10R$ . При  $q = +20$  нКл  $j = 27$  В; при  $q = -20$  нКл  $j = -9$  В.

4 До какого потенциала можно зарядить находящийся в воздухе (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 1$ ) металлический шар радиуса  $R = 3$  см, если напряженность электрического поля, при которой происходит пробой в воздухе,  $E = 3$  МВ/м?

Решение:

Наибольшую напряженность электрическое поле имеет у поверхности шара:

$$E = kq / \epsilon R^2$$

Потенциал шара  $\varphi = kq / \epsilon R$ ; отсюда  $j = ER = 90$  В.

Потенциал. Работа электрических сил.

5 Два одинаково заряженных шарика, расположенных друг от друга на расстоянии  $r = 25$  см, взаимодействуют с силой  $F = 1$  мкН. До какого потенциала заряжены шарики, если их диаметры  $D = 1$  см?

Решение:

Из закона Кулона определяем заряды шариков:  $q = r\sqrt{F/k}$ . Заряд  $q$ , находящийся на шарике радиуса  $R = D/2$ , создает на поверхности этого шарика потенциал

$$\varphi_1 = k \frac{q}{R} = k \frac{r\sqrt{F/k}}{R} \frac{2r}{D} \sqrt{kF}$$

В том месте, где находится этот шарик, заряд другого шарика создает

потенциал  $\varphi_2 = kq/r = \sqrt{kF}$ . Таким образом, потенциал каждого шарика

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{2r\sqrt{kF}}{D} \left( 1 + \frac{D}{2r} \right) = 4,84 \text{ кВ.}$$

6 В вершинах квадрата расположены точечные заряды (в нКл):  $q_1 = +1$ ,  $q_2 = -2$ ,  $q_3 = +3$ ,  $q_4 = -4$  (рис. 71). Найти потенциал и напряженность электрического поля в центре квадрата (в точке А). Диагональ квадрата  $2a = 20$  см.

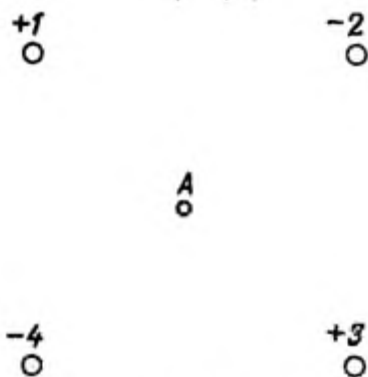


Рис. 71

Решение:

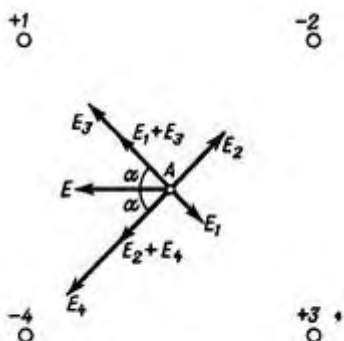


Рис. 339

Потенциал в центре квадрата равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых всеми зарядами в этой точке:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 = (k/a)(q_1 + q_2 + q_3 + q_4) = -180 \text{ В.}$$

Напряженность поля в центре квадрата является векторной суммой напряженностей, создаваемых каждым зарядом в этой точке:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4.$$

Модули этих напряженностей

$$E_1 = kq_1/a^2, E_2 = kq_2/a^2, E_3 = kq_3/a^2, E_4 = kq_4/a^2.$$

Удобно сначала сложить попарно векторы, направленные по одной диагонали в противоположные стороны (рис. 339):  $E_1 + E_3$  и  $E_2 + E_4$ . При данных зарядах сумма  $E_1 + E_3$  по модулю равна сумме  $E_2 + E_4$ . Поэтому результирующая напряженность  $E$  направлена по биссектрисе угла между диагоналями и составляет с этими диагоналями углы  $\alpha = 45^\circ$ . Ее модуль  $E = 2545$  В/м.

7 Найти потенциалы и напряженности электрического поля в точках а и b, находящиеся от точечного заряда  $q=167\text{нКл}$  на расстояниях  $r_a = 5\text{ см}$  и  $r_b = 20\text{ см}$ , а также работу электрических сил при перемещении точечного заряда  $q_0 = 1\text{ нКл}$  из точки а в точку b.

Решение:

Напряженности электрического поля в точках а и b

$$E_a = kq/r_a^2 = 600\text{ кВ/м}, \quad E_b = kq/r_b^2 = 37,5\text{ кВ/м}.$$

Потенциалы в этих точках

$$\varphi_a = kq/r_a = 30\text{ кВ}, \quad \varphi_b = kq/r_b = 7,5\text{ кВ}.$$

Работа электрических сил при перемещении заряда  $q_0$  из точки а в точку b

$$A = q_0(\varphi_a - \varphi_b) = kq_0q(1/r_a - 1/r_b) = 22,5\text{ мкДж}.$$

8 Точечный положительный заряд  $q$  создает в точках а и b (рис. 72) поля с напряженностями  $E_a$  и  $E_b$ . Найти работу электрических сил при перемещении точечного заряда  $q_0$  из точки а в точку b.

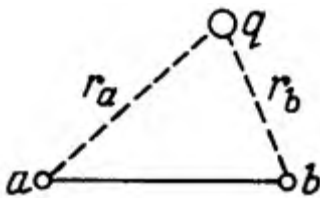


Рис. 72

Решение:

Напряженности электрического поля в точках а и b равны

$$E_a = kq/r_a^2 \quad \text{и} \quad E_b = kq/r_b^2,$$

где  $r_a, r_b$  — расстояния точек а и b от заряда  $q$ . Потенциалы в точках а и b равны

$$\varphi_a = kq/r_a = \sqrt{kqE_a}$$

$$\varphi_b = kq/r_b = \sqrt{kqE_b};$$

отсюда работа, необходимая для перемещения заряда  $q_0$  из точки а в точку b,

$$A = q_0(\varphi_a - \varphi_b) = q_0\sqrt{kq}(\sqrt{E_a} - \sqrt{E_b}).$$

9 В атомной физике энергию быстрых заряженных частиц выражают в электрон-вольтах. Электрон-вольт (эВ) — это такая энергия, которую приобретает электрон, пролетев в электрическом поле путь между точками, разность потенциалов между которыми равна 1 В. Выразить электрон-вольт в джоулях. Какую скорость имеет электрон, обладающий энергией 1 эВ?

Решение:



При прохождении электроном разности потенциалов  $V = 1$  В электрические силы совершают над электроном работу

$$A = eV = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Эта работа равна кинетической энергии, приобретенной электроном, т.е.

$$1 \text{ эВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Поскольку

$$eV = mv^2/2, \text{ то } v = \sqrt{2eV/m} = 593 \text{ км/с.}$$

10 Электрон летит от точки а к точке b, разность потенциалов между которыми  $V = 100$  В. Какую скорость приобретает электрон в точке b, если в точке а его скорость была равна нулю?

Решение:

Работа электрических сил равна изменению кинетической энергии электрона:

$$eV = mv^2/2; \text{ отсюда } v = \sqrt{2eV/m} = 5930 \text{ км/с.}$$

### Электрическая емкость

1 Во сколько раз изменится емкость проводящего шара радиуса R, если он сначала помещен в керосин (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_1 = 2$ ), а затем в глицерин (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_2 = 56,2$ )?

Решение:

626. Емкости проводящего шара в керосине и в глицерине

$$C_1 = 4\pi\epsilon_0\epsilon_1R \text{ и } C_2 = 4\pi\epsilon_0\epsilon_2R.$$

Их отношение

$$C_2/C_1 = \epsilon_2/\epsilon_1 = 28,1.$$

2 Плоский конденсатор имеет емкость  $C = 5$  пФ. Какой заряд находится на каждой из его пластин, если разность потенциалов между ними  $V = 1000$  В?

Решение:

Заряд на пластине, заряженной положительно,  $q = CV = 5 \text{ нКл}$ .

3 Поверхностная плотность заряда на пластинах плоского вакуумного конденсатора  $s = 0,3$  мкКл/м<sup>2</sup>. Площадь пластины  $S = 100$  см<sup>2</sup>, емкость конденсатора  $C = 10$  пФ. Какую скорость приобретает электрон, пройдя расстояние между пластинами конденсатора?

Решение:

$$v = \sqrt{2\gamma\sigma S/C} = 1,03 \cdot 10^7 \text{ м/с, где } \gamma \text{ — удельный заряд электрона.}$$

4 Плоский воздушный конденсатор состоит из трех пластин, соединенных, как показано на рис. 77. Площадь каждой пластины  $s = 100$  см<sup>2</sup>, расстояние между ними  $d = 0,5$  см. Найти емкость конденсатора. Как изменится емкость конденсатора при погружении его в глицерин (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 56,2$ )?

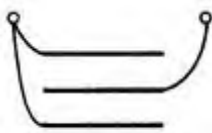


Рис. 77

Решение:

Конденсатор из трех пластин можно рассматривать как два плоских воздушных конденсатора с емкостью  $\epsilon_0 S/d$  каждый, соединенных параллельно (рис. 77). Поэтому общая емкость (без диэлектрика)

$$C_0 = 2 \epsilon_0 S/d = 35,4 \text{ пФ.}$$

При погружении конденсатора в глицерин его емкость

$$C = \epsilon C_0 = 2 \epsilon_0 \epsilon S/d \approx 2000 \text{ пФ.}$$

Электрическая емкость

5 Конденсатор состоит из  $n$  латунных листов, проложенных стеклянными прокладками толщины  $d=2$  мм. Площади латунного листа и стеклянной прокладки равны  $S=200$  см<sup>2</sup>, диэлектрическая проницаемость стекла  $\epsilon = 7$ . Найти емкость конденсатора, если  $n = 21$  и выводы конденсатора присоединены к крайним листам.

Решение:

$$C = C_1/(n-1) = \epsilon_0 \epsilon S/(n-1)d \approx 31 \text{ пФ.}$$

6 Маленький шарик, имеющий заряд  $q=10$  нКл, подвешен на нити в пространстве плоского воздушного конденсатора, круглые пластины которого расположены горизонтально. Радиус пластины конденсатора  $R=10$  см. Когда пластинам конденсатора сообщили заряд  $Q = 1$  мкКл, сила натяжения нити увеличилась вдвое. Найти массу шарика.

Решение:

$$m = qE/g = |q|Q/\epsilon_0 R^2 g = 3,7 \text{ г.}$$

7 Между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора подвешен на нити маленький шарик, несущий заряд  $q=10$  нКл. Масса шарика  $m = 6$  г, площадь пластины конденсатора  $S = 0,1$  м<sup>2</sup>. Какой заряд  $Q$  надо сообщить пластинам конденсатора, чтобы нить отклонилась от вертикали на угол  $\alpha = 45^\circ$ ?

Решение:

Напряженность электрического поля внутри плоского конденсатора связана с зарядом  $Q$  на его пластинах соотношением

$$E = Q/\epsilon_0 S.$$

На шарик внутри конденсатора действуют сила тяжести  $mg$ , сила натяжения нити  $T$  и сила  $F=qE$  со стороны электрического поля (рис. 335). При равновесии шарика в пространстве конденсатора (см. задачу 591)  $qF=mg \operatorname{tg} \alpha$ , или

$$\frac{qQ}{\epsilon_0 S} = mg \operatorname{tg} \alpha \text{ отсюда } Q = \frac{\epsilon_0 S mg}{q} \operatorname{tg} \alpha = 5,2 \text{ мкКл.}$$

8 Какой заряд пройдет по проводам, соединяющим пластины плоского воздушного конденсатора и источник тока с напряжением  $V=6,3$  В, при погружении конденсатора в керосин (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 2$ )? Площадь пластины конденсатора  $S=180$  см<sup>2</sup>, расстояние между пластинами  $d=2$  мм.

Решение:

Если  $q_1$  и  $q_2$  - заряды на пластинах до и после погружения конденсатора в керосин, то

$$\Delta q = q_2 - q_1 = \epsilon_0(\epsilon - 1)C_0 V = \epsilon_0(\epsilon - 1)SV/d = 50 \text{ нКл.}$$

9 Плоский воздушный конденсатор зарядили до разности потенциалов  $V_0 = 200$  В. Затем конденсатор отключили от источника тока. Какой станет разность потенциалов между пластинами, если расстояние между ними увеличить от  $d_0 = 0,2$  мм до  $d=0,7$  мм, а пространство между пластинами заполнить слюдой (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 7$ )?

Решение:

Заряд на пластинах не изменяется, поэтому

$$V = dV_0/\epsilon = 100 \text{ В.}$$

10 Пластины плоского воздушного конденсатора присоединены к источнику тока с напряжением  $V=600$  В. Площадь квадратной пластины конденсатора  $S_0 = 100$  см<sup>2</sup>, расстояние между пластинами  $d=0,1$  см. Какой ток будет проходить по проводам при параллельном перемещении одной пластины вдоль другой со скоростью  $v = 6$  см/с (рис. 78)?

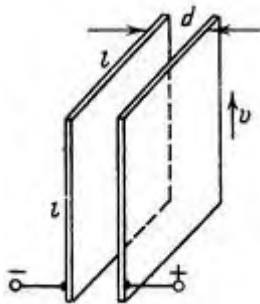


Рис. 78

Решение:

При перемещении пластины емкость конденсатора в данный момент времени определяется той частью площади пластин, по которой они перекрывают друг друга. В моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  площади

$$S_1 = S_0 - vlt_1, \quad S_2 = S_0 - vlt_2,$$

где  $l=10$  см-длина стороны пластины. В эти моменты времени конденсатор имеет емкости

$$C_1 = \epsilon_0 S_1 / d, \quad C_2 = \epsilon_0 S_2 / d,$$

а заряды на его пластинах

$$q_1 = C_1 V = \epsilon_0 S_1 V / d, \quad q_2 = C_2 V = \epsilon_0 S_2 V / d.$$

## Закон Ома

1. Найти ток ветви (рисунок 3), если:  $U=10$  В,  $E=20$  В,  $R=5$  Ом.

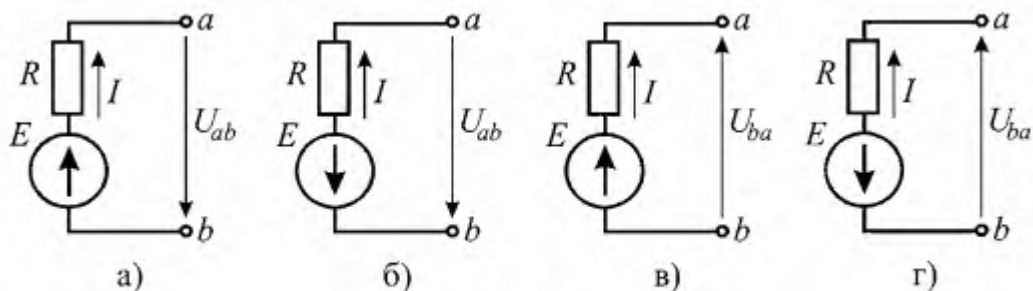


Рисунок 3

Решение:

Так как все схемы рисунка 3 представляют собой активные ветви, то для определения токов в них используем закон Ома обобщенный закон Ома. Рассмотрим рисунок 3 а: направление ЭДС совпадает с произвольно выбранным условно положительным направлением тока, следовательно, в формуле обобщенного закона Ома величина ЭДС учитывается со знаком «плюс».

Направление напряжения  $U_{ab}$  не совпадает с направлением тока, и в формуле обобщенного закона Ома величина напряжения учитывается со знаком «минус»;

$$a) I = \frac{-U_{ab} + E}{R} = \frac{-10 + 20}{5} = 2 \text{ A};$$

Аналогично определяются токи в схемах б, в, г

$$б) I = \frac{-U_{ab} - E}{R} = \frac{-10 - 20}{5} = -6 \text{ A};$$

$$в) I = \frac{U_{ba} + E}{R} = \frac{10 + 20}{5} = 6 \text{ A};$$

$$г) I = \frac{U_{ba} - E}{R} = \frac{10 - 20}{5} = -2 \text{ A}.$$

рисунка 3: 2. Найти напряжение между зажимами ветвей (рисунок 4).

2. Найти напряжение между зажимами ветвей (рисунок 4).

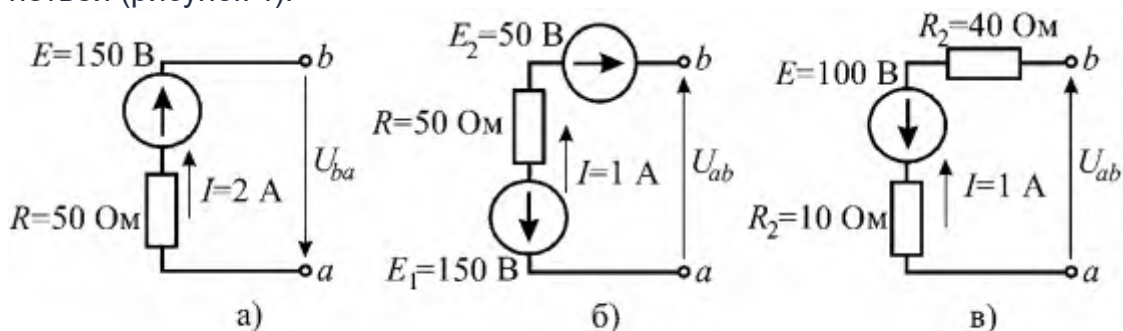


Рисунок 4

Решение:

Участок цепи, изображенный на рисунке 4 а содержит источник ЭДС, т.е. является активным, поэтому воспользуемся обобщенным законом Ома:

$$I = \frac{-U_{ba} + E}{R}, \text{ откуда выразим напряжение на зажимах:}$$

$$U_{ba} = E - I \cdot R = 150 - 2 \cdot 50 = 50 \text{ В. Аналогично определяются напряжения на зажимах}$$

участков, изображенных на рисунках 4 б и 4 в.

$$б) I = \frac{U_{ab} + E_2 - E_1}{R}, \Rightarrow U_{ab} = I \cdot R + E_1 - E_2 = 1 \cdot 50 + 150 - 50 = 150 \text{ В};$$

$$в) I = \frac{U_{ab} - E}{R_1 + R_2}, \Rightarrow U_{ab} = I \cdot (R_1 + R_2) + E = 2 \cdot (10 + 40) + 100 = 200 \text{ В}.$$

3. Определить неизвестные потенциалы точек участка цепи (рисунок 5).

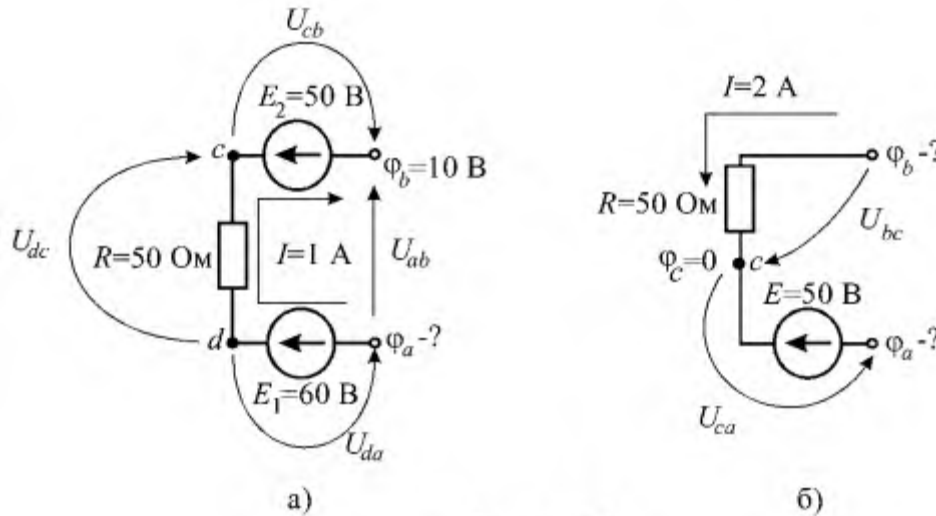


Рисунок 5

Решение:

Для схемы рисунка 5 а запишем обобщенный закон Ома:  $I = \frac{U_{ab} + E_1 - E_2}{R}$ , откуда выразим напряжение на зажимах ветви:  $U_{ab} = I \cdot R - E_1 + E_2$ . Если представить напряжение  $U_{ab}$  как разность потенциалов:  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ , тогда при известных параметрах цепи, токе и потенциале  $\varphi_b$  определим потенциал  $\varphi_a$ :  $\varphi_a = I \cdot R - E_1 + E_2 + \varphi_b = 1 \cdot 50 + 100 - 60 + 10 = 100 \text{ В}$ . Эту же задачу можно решить другим способом. Напряжение на зажимах источника ЭДС  $E_2$ , без учета внутреннего сопротивления источника, по величине равно  $E_2$  и направлено от точки с большим потенциалом (точка С) к точке с меньшим потенциалом (точка б):  $U_{cb} = E_2 = \varphi_c - \varphi_b$ , и тогда, зная потенциал  $\varphi_b$ , определим потенциал точки С:  $\varphi_c = \varphi_b + E_2$ . Потенциал точки d больше потенциала точки С на величину падения напряжения на сопротивлении R:  $U_{cd} = \varphi_c - \varphi_d = I \cdot R$ , тогда  $\varphi_d = \varphi_c + I \cdot R = \varphi_b + E_2 + I \cdot R$ . Потенциал точки а определяем с учетом направления напряжения  $U_{da}$  на зажимах источника ЭДС  $E_1$ . Напряжение  $U_{da}$  направлено от точки с большим потенциалом (точка d) к точке с меньшим потенциалом (точка а):  $U_{da} = E_1 = \varphi_d - \varphi_a$ , откуда следует, что  $\varphi_a = \varphi_d - E_1$  или  $\varphi_a = \varphi_b + E_2 + I \cdot R - E_1$ . Рассмотрим решение задачи для схемы рисунка 5 б. При известном потенциале точки С, параметрах элементов и токе, определим потенциалы крайних точек участка цепи  $\varphi_a$  и  $\varphi_b$ . Напряжение на участке б - с, выраженное через разность потенциалов, определим по закону Ома:

$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = I \cdot R$ , откуда следует  $\varphi_b = \varphi_c + I \cdot R = 0 + 2 \cdot 50 = 100 \text{ В}$ . Напряжение на участке с - а, равное по величине  $E$ , направлено от точки с большим потенциалом

$$U_{ca} = E = \varphi_c - \varphi_a$$

к точке с меньшим потенциалом:  $\varphi_a = \varphi_c - E = 0 - 50 = -50 \text{ В}$ . 4. В цепи (рисунок 6) известны величины сопротивлений резистивных элементов:  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ , входное напряжение  $U = 100 \text{ В}$  и мощность, выделяемая на резистивном элементе с сопротивлением  $R_1$ :  $P_1 = 40 \text{ Вт}$ . Определить величину сопротивления

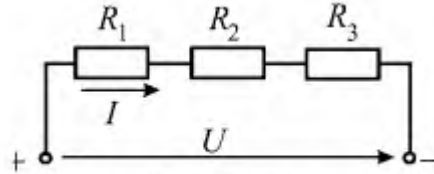


Рисунок 6

резистора  $R_3$ .

Решение:

Согласно закону Джоуля-Ленца, мощность на резистивном элементе определяется:  $P = U \cdot I$ , или, согласно закону Ома:  $P = I^2 \cdot R$ . По известному значению мощности на резистивном элементе  $R_1$  и величине сопротивления этого элемента определим ток в ветви:  $P_1 = I^2 \cdot R_1 \Rightarrow I = \sqrt{P_1 / R_1} = \sqrt{40 / 10} = 2 \text{ А}$ . По закону Ома напряжение на зажимах определится:  $U = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3)$ , тогда величина сопротивления резистивного элемента:

$$R_3 = \frac{U - I(R_1 + R_2)}{I} = \frac{100 - 2 \cdot (10 + 20)}{2} = 20 \text{ Ом}.$$

5. Определить показания вольтметров цепи (рисунок 7), если  $R_1 = 50 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 150 \text{ Ом}$ ,  $U = 150 \text{ В}$ ,  $E = 50 \text{ В}$ .

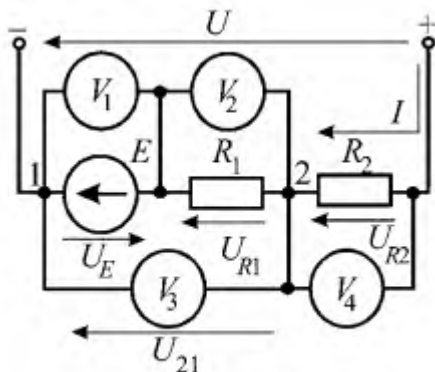


Рисунок 7

Решение:

Ток в цепи определим по закону Ома:

$$I = \frac{U + E}{R_1 + R_2} = \frac{150 + 50}{50 + 150} = 1 \text{ А}$$

Вольтметр  $V_1$  показывает напряжение на источнике ЭДС  $E$ :  $V_1 = U_E = E = 50 \text{ В}$ . Вольтметры  $V_2$  и  $V_4$  показывают величину падения напряжения на резистивных элементах  $R_1$  и  $R_2$ :

$$V_2 = U_{R1} = I \cdot R_1 = 1 \cdot 50 = 50 \text{ В};$$

$V_4 = U_{R2} = I \cdot R_2 = 1 \cdot 150 = 150 \text{ В}$ . Вольтметр  $V_3$ , показывает напряжение на участке 2 - 1  $U_{21}$ , которое определим как алгебраическую сумму напряжений  $U_E$  и  $U_{R1}$ :

$$V_3 = U_{21} = U_{R1} - U_E = 50 - 50 = 0.$$

6. Ток симметричной цепи (рисунок

8)  $I = 2,5 \text{ A}$ ,  $R_1 = 2,4 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 4,8 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 7,2 \text{ Ом}$ , внутреннее сопротивление источника ЭДС  $R_0 = 0,6 \text{ Ом}$ . Определить ЭДС  $E$  и мощность источника энергии.

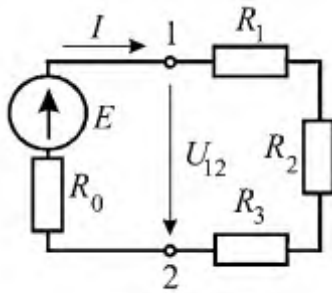


Рисунок 8

Решение:

Напряжение на зажимах 1 - 2 определим по закону Ома для пассивной ветви:  
 $U_{12} = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3) = 2,5 \cdot (2,4 + 4,8 + 7,2) = 36 \text{ В}$ . Величину ЭДС источника энергии определим из выражения закона Ома для активной ветви:

$$I = \frac{-U + E}{R_0}, \Rightarrow E = I \cdot R_0 + U = 2,5 \cdot 0,6 + 36 = 37,5 \text{ В}.$$

Мощность, развиваемая

источником энергии, определится:  $P_H = E \cdot I = 37,5 \cdot 2,5 = 93,75 \text{ Вт}$ .

1. Ток в цепи якоря вращающегося электродвигателя  $I = 50 \text{ а}$  при напряжении  $U = 220 \text{ в}$ .

Определить потери мощности в якоре, если его сопротивление  $r = 0,1 \text{ ом}$ . Решение:

Потери мощности в сопротивлении цепи якоря пропорциональны квадрату тока:

$$\Delta P = rI^2 = 0,1 \cdot 50^2 = 0,1 \cdot 2500 = 250 \text{ Вт}.$$

Казалось бы, что тот же результат можно получить по формуле  $\Delta P = UI = 220 \cdot 50 = 11000 \text{ Вт} = 11 \text{ кВт}$ . Однако эта формула выражает мощность при получении энергии от сети электродвигателем, в котором электрическая энергия преобразуется в механическую. Ток в электродвигателе не определяется по закону Ома. Если применить формулу

$$I = \frac{U}{r}, \text{ то } I = \frac{220}{0,1} = 2200 \text{ А}.$$

Экп ток возник бы в цепи якоря при пуске электродвигателя без пусковых приспособлений. В действительности же во

вращающемся электродвигателе ток определяется по формуле  $I = \frac{U - E}{r}$ , где  $E$  — встречная э. д. с.

Уравнение равновесия напряжений для электродвигателя имеет следующий вид:

$$U = E + rI, \text{ т. е. приложенное напряжение } U = 220 \text{ В уравнивает встречную э.д.с. } E = 215 \text{ В и покрывает потери напряжения в цепи якоря } rI = 5 \text{ в.}$$

Умножив обе части равенства на величину тока  $I$ , получим уравнение баланса мощностей

$$UI = EI + rI^2.$$

Здесь  $EI = 10\,750 \text{ Вт}$  означает механическую мощность, развиваемую электродвигателем. 2. На крышке трехзажимного реостата имеется надпись:  $10 \text{ Ом}$ ,  $5,5 \text{ А}$ .

Определить наибольшее напряжение, которое можно приложить к реостату. Решение:

На основании закона Ома определим наибольшее допустимое напряжение как произведение наибольшего сопротивления на номинальный ток:

$U_{\max} = r_{\max} I_{\text{ном}} = 10 \cdot 5,5 = 55 \text{ В}$ . Если подвижной контакт находится посередине реостата, то при использовании одного постоянного зажима и зажима, соединенного со штангой, сопротивление реостата  $r=5 \text{ Ом}$ .

Учитывая прежний номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 5,5 \text{ А}$ , получим

$U = r I_{\text{ном}} = 5 \cdot 5,5 = 27,5 \text{ В}$ . Обычно расчет ведут на диапазон сопротивления от максимального до сопротивления, соответствующего положению движка посередине штанги, т. е. от  $r$  до  $r/2$ . Рассмотренный реостат применим в цепи с напряжением от 55 до 27,5 В. Если этот реостат включить на напряжение 120 В,

$$I = \frac{U}{r_{\max}} = \frac{120}{10} = 12 \text{ А},$$

то возникнет ток  $r_{\max}$  опасный для проволоки. 3. Напряжение между входными зажимами двухпроводной линии остается постоянным и равным 220 В. Амперметр, включенный в линию, изменяет свои показания в течение работы; 44 А, 22 А, 11 А, 2 А, 0.

Какую величину имеют при этих режимах вместе взятые сопротивления линии и нагрузки, т. е. сопротивление, определенное со стороны входных зажимов линии? Решение:

На основании закона Ома входное сопротивление линии (т. е. сопротивление

$$r = \frac{U}{I}.$$

линии и нагрузки) Составляем табл. 2. Отсутствие тока в линии соответствует бесконечно большому значению входного сопротивления линии, что на практике означает разрыв цепи.

Таблица 2

$U, \text{ В}$	220	220	220	220
$I, \text{ А}$	44	22	11	2
$r = \frac{U}{I}, \text{ Ом}$	5	10	20	110

4. Обмотка возбуждения электрической машины присоединена к сети с напряжением  $U = 120 \text{ В}$ . В первое время после включения показание амперметра в цепи этой обмотки было  $I_1 = 1,2 \text{ А}$ , а после нагрева обмотки до установившейся температуры  $I_2 = 1 \text{ А}$ .

Учитывая, что в помещении температура воздуха  $\Theta_1 = 18^\circ \text{С}$ , определить допустимую температуру обмотки. Решение:

Начальное значение сопротивления (при температуре  $\Theta_1 = 18^\circ \text{С}$ ) определяем на

$$r_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{120}{1,2} = 100 \text{ Ом}.$$

основании закона Ома: При установившейся (пока неизвестной) температуре  $\Theta_2$ , большей, чем первоначальная,

$$r_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{120}{1} = 120 \text{ Ом}.$$

Относительное приращение электрического



сопротивления  $\left(\frac{r_2 - r_1}{r_1}\right)$  рассматриваем пропорциональным повышению

температуры  $(\Theta_2 - \Theta_1)$ , т. е.  $\frac{r_2 - r_1}{r_1} = \alpha(\Theta_2 - \Theta_1)$ , где температурный коэффициент электрического сопротивления для меди  $\alpha_m = 0,004 \text{ град}^{-1}$ . Следовательно,

$$\frac{120 - 100}{100} = 0,004(\Theta_2 - 18).$$

После умножения обеих частей равенства на 100 имеем  $20 = 0,4(\Theta_2 - 18)$ ,

или

$$20 = 0,4\Theta_2 - 7,2;$$

откуда

$$\Theta_2 = \frac{20 + 7,2}{0,4} = 68 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Перегрев на  $\Theta_2 - \Theta_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  является допустимым для употребляемых сортов изоляции проводов.

В этой задаче рассмотрен один из методов измерения температуры электрическим путем. 5. Какое сопротивление должен иметь реостат, чтобы при включении его последовательно с приемником энергии в сеть напряжением 220 В ток приемника с 5 А уменьшился до 1 А? Решение:

До включения реостата сопротивление цепи, представленной только приемником

$$r_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{220}{5} = 44 \text{ Ом}.$$

энергии, на основании закона Ома было равно После

включения реостата последовательно с приемником энергии  $r_1$  добавилось

$$\text{сопротивление реостата } r_p: r_1 + r_p = \frac{U}{I_2} = \frac{220}{1} = 220 \text{ Ом}.$$

Отсюда сопротивление

$$\text{реостата } r_p = 220 - 44 = 176 \text{ Ом}.$$

6. Чтобы измерить напряжение сети 220 В, последовательно соединили два вольтметра, номинальные напряжения которых 150 В и сопротивления соответственно 28 000 и 16000 Ом.

Определить показания каждого вольтметра. Какое наибольшее напряжение можно измерить при этой схеме соединения (рис. 6)?

Решение.

Показание каждого вольтметра равно напряжению между зажимами, которое

представится на основании закона Ома в виде  $U_1 = r_1 I$ ,  $U_2 = r_2 I$ , причем ток I

определяется напряжением и суммой сопротивлений  $(r_1 + r_2)$ :

$$I = \frac{U}{r_1 + r_2} = \frac{220}{28000 + 16000} = 0,005 \text{ А}.$$

Следовательно, показания вольтметров таковы:

$$U_1 = r_1 I = 28000 \cdot 0,005 = 140 \text{ В},$$

$$U_2 = r_2 I = 16000 \cdot 0,005 = 80 \text{ В}.$$

Итак, в то время как шкала первого вольтметра почти полностью использована, стрелка второго прибора отклонилась только приблизительно до середины. Если применять эту схему, то следует ориентироваться на вольтметр, сопротивление которого больше.

Положим  $U_{\max 1} = 150 \text{ В}$ . Тогда (так как напряжения пропорциональны сопротивлениям) второй вольтметр покажет

$$U_2 = U_1 \frac{r_2}{r_1} = 150 \cdot \frac{16000}{28000} = 86 \text{ В}.$$

Наибольшее напряжение, которое можно измерить

$$U_2 = U_1 \frac{r_2}{r_1} = 150 + 86 = 236 \text{ В}.$$

при этой схеме соединения,

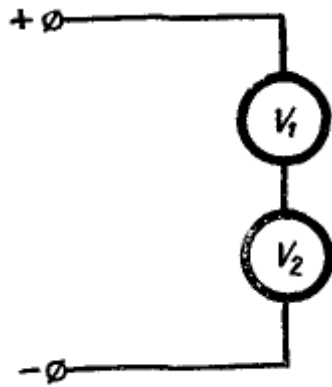


Рис. 6

## Закон Кирхгофа

1. В цепи (рисунок 10) известны значения токов  $I_6 = 2 \text{ А}$ ,  $I_2 = 1,25 \text{ А}$ ,  $I_5 = 0,8 \text{ А}$ , величины сопротивлений  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 5 \text{ Ом}$ . Определить напряжение  $U$  на входных зажимах цепи, сопротивление  $R_6$  и

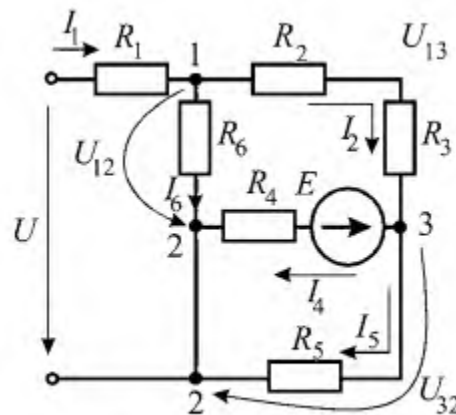


Рисунок 10

величину  $E$  источника ЭДС.

Решение:

По закону Ома определим напряжение между узлами 3-2:

$$U_{32} = I_5 \cdot R_5 = 0,8 \cdot 5 = 4 \text{ В}.$$

Из уравнения, составленного по первому закону Кирхгофа для узла 3:  $I_2 - I_4 - I_5 = 0$  определим ток  $I_4$ :  $I_4 = I_2 - I_5 = 1,25 - 0,8 = 0,45 \text{ А}$ . Тогда, по

закону Ома для ветви с сопротивлением  $R_4$ :  $I_4 = \frac{U_{32} - E}{R_4}$ , откуда выражаем величину  $E$  источника ЭДС:

$E = U_{32} - I_4 \cdot R_4 = 4 - 0,45 \cdot 2 = 3,1 \text{ В}$ . Напряжение  $U_{12}$  можно выразить из уравнения,

записанного по II закону Кирхгофа для контура 1-3-2-1:

$$U_{13} + U_{23} - U_{12} = 0,$$

$$U_{12} = U_{13} + U_{32} = I_2 \cdot (R_2 + R_3) + U_{32} = 1,25 \cdot (3 + 2) + 4 = 10,25 \text{ В.}$$

Зная величины напряжения  $U_{12}$  и тока  $I_6$ , определим величину сопротивления  $R_6$ :

$$R_6 = \frac{U_{12}}{I_6} = \frac{10,25}{1,5} = 6,8 \text{ Ом.}$$

Напряжение на входных зажимах цепи определится:

$$U = U_{R1} + U_{12} = I_1 \cdot R_1 + U_{12}. \text{ Ток } I_1 \text{ определим из уравнения, записанного по первому}$$

$$\text{закону Кирхгофа для 1 узла: } I_1 - I_2 - I_6 = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 + I_6 = 1,25 + 1,5 = 2,75 \text{ А,}$$

тогда

$$U = 2,75 \cdot 2 + 10,25 = 15,75 \text{ В.}$$

2. В цепи (рисунок 11) известны величины сопротивлений резистивных элементов  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 12 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 1 \text{ Ом}$ ; мощность, изменяемая ваттметром  $P = 320 \text{ Вт}$ . Определить токи ветвей,

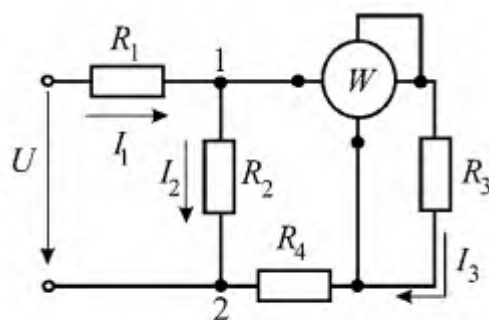


Рисунок 11

напряжение на зажимах цепи.

Решение:

Из формулы для расчета мощности выражаем ток  $I_3$ :

$$I_3 = \sqrt{P/R_3} = \sqrt{320/5} = 8 \text{ А.}$$

Затем определяем напряжение на зажимах параллельных ветвей:  $U_{12} = I_3 \cdot (R_3 + R_4) = 8 \cdot (5 + 1) = 48 \text{ В}$ . По закону Ома определяем

$$I_2 = \frac{U_{12}}{R_2} = \frac{48}{12} = 4 \text{ А.}$$

Значение тока в неразветвленной части цепи определим из уравнения, записанного по первому

закону Кирхгофа для узла 1:  $I_1 - I_2 - I_3 = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 + I_3 = 4 + 8 = 12 \text{ А}$ . Напряжение на

входных зажимах цепи можно представить как сумму падений напряжений на

сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$ :  $U = U_{R1} + U_{12}$ , где  $U_{R1} = I_1 \cdot R_1 = 12 \cdot 1 = 12 \text{ В}$ ,

тогда  $U = 12 + 48 = 60 \text{ В}$ .

3. На рисунке 12 показана часть сложной цепи.

Задано:  $I_1 = 3 \text{ А}$ ,  $I_2 = 2,4 \text{ А}$ ,  $E_1 = 70 \text{ В}$ ,  $E_2 = 20 \text{ В}$ ,  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ . Найти

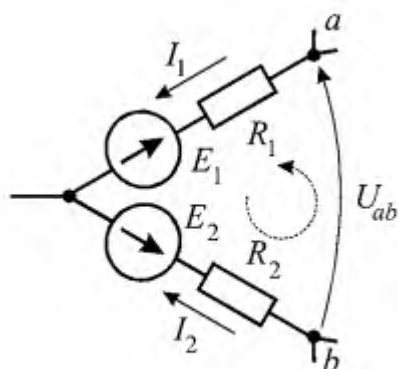


Рисунок 12

напряжение  $U_{ab}$ .

Решение:

Уравнение по второму закону Кирхгофа для данного контура, при выбранном направлении обхода контура, запишется следующим образом:

$$U_{ab} + I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 = E_2 - E_1, \text{ откуда выражаем напряжение } U_{ab}:$$

$$U_{ab} = E_2 - E_1 - I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 = 20 - 70 - 3 \cdot 3 + 2,4 \cdot 5 = -47 \text{ В.}$$

4. В схеме (рисунок 13) известны:  $E_1 = 10 \text{ В}$ ,  $E_2 = 20 \text{ В}$ ,  $E_3 = 30 \text{ В}$ ,  $R = 1 \text{ Ом}$ ,  $I_1 = 1 \text{ А}$ ,  $I_2 = 2 \text{ А}$ . Определить напряжения  $U_{12}$ ,  $U_{34}$ ,  $U_{13}$ ,  $U_{24}$ ,  $U_{14}$ ,  $U_{23}$ .

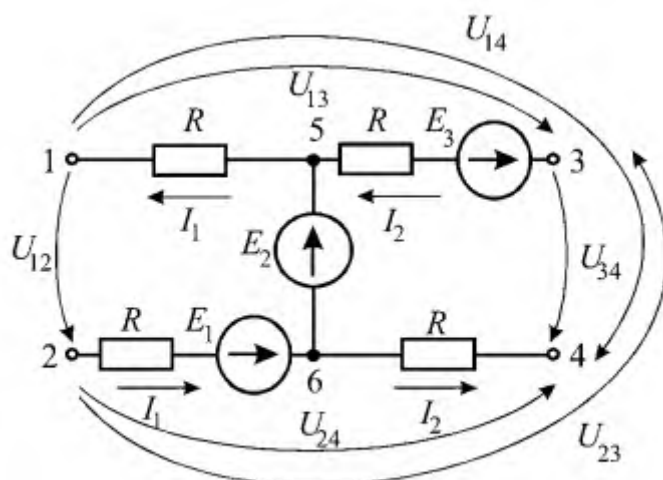


Рисунок 13

Решение:

Считаем направления обходов контуров совпадающими с направлениями искомых напряжений. Запишем уравнения по второму закону Кирхгофа для каждого контура и выразим напряжения:

$$U_{12} + I_1(R + R) = E_1 + E_2,$$

$$\text{контур } 1-2-6-5-1 \quad U_{12} = E_1 + E_2 - I_1 \cdot 2R = 10 + 20 - 1 \cdot 2 \cdot 1 = 28 \text{ В}; \quad \text{контур } 3-4-6-5-3$$

$$U_{34} - I_2(R + R) = E_2 + E_3,$$

$$U_{34} = E_2 + E_3 + I_2 \cdot 2R = 20 + 30 + 2 \cdot 2 \cdot 1 = 54 \text{ В}; \quad \text{контур } 1-3-5-1$$

$$U_{13} + I_1R + I_2R = -E_3,$$

$$U_{13} = -E_3 - R(I_1 + I_2) = -30 - 1 \cdot (1 + 2) = -33 \text{ В}; \quad \text{контур } 2-4-6-2$$

$$U_{24} - I_2R - I_1R = -E_1,$$

$$U_{24} = -E_1 + R(I_1 + I_2) = -10 + 1 \cdot (1 + 2) = -7 \text{ В}; \quad \text{контур } 1-4-6-5-1$$

$$U_{14} - I_2R + I_1R = E_2, \quad U_{14} = E_2 + R(I_2 - I_1) = 20 + 1 \cdot (2 - 1) = 21 \text{ В}; \quad \text{контур } 2-3-5-6-2$$

$$U_{23} + I_2 R - I_1 R = -E_3 - E_2 - E_1, \quad U_{23} = -E_3 - E_2 - E_1 + R(I_1 - I_2) = -30 - 20 - 10 + 1 \cdot (1 - 2) = -61 \text{ В.}$$

5. Определить показание амперметра (рисунок 14),

если  $U_{ab} = 107 \text{ В}$ ,  $U_{bc} = -60 \text{ В}$ ,  $R_1 = 7 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 8 \text{ Ом}$ ,  $E_1 = 100 \text{ В}$ ,  $E_2 = 70 \text{ В}$ .

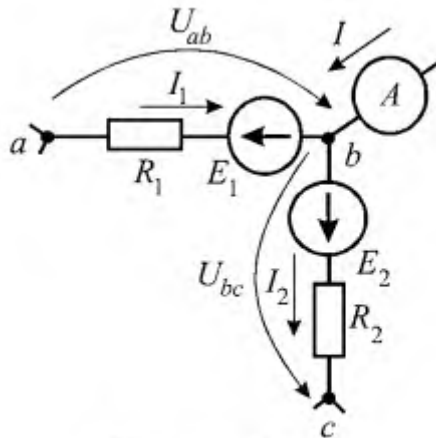


Рисунок 14

Решение:

По закону Ома определим значения токов в ветвях:

$$I_1 = \frac{U_{ab} - E_1}{R_1} = \frac{107 - 100}{7} = 1 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{U_{bc} + E_2}{R_2} = \frac{-60 + 70}{8} = 1,25 \text{ А}.$$

Запишем уравнение по первому закону Кирхгофа для узла b:  $I + I_1 - I_2 = 0$ , откуда  $I = I_2 - I_1 = 1,25 - 1 = 0,25 \text{ А}$ .

6. На рисунке 15 показана часть сложной цепи. Найти напряжения  $U_{ab}$ , если

$U_{cd} = 102 \text{ В}$ ,  $R_1 = 8 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $E_1 = 30 \text{ В}$ ,  $E_2 = 100 \text{ В}$ ,  $E_3 = 70 \text{ В}$ ,  $I_1 = 10 \text{ А}$ .

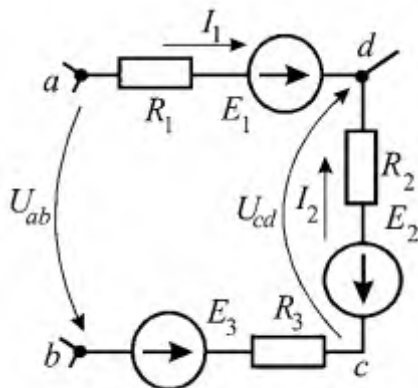


Рисунок 15

Решение:

$$I_2 = \frac{U_{cd} - E_2}{R_2} = \frac{102 - 100}{2} = 1 \text{ А}.$$

По закону Ома определим ток на участке c-d:

уравнение по второму закону Кирхгофа для контура a-b-c-d:

$$U_{ab} + I_2 \cdot (R_3 + R_2) - I_1 R_1 = E_3 - E_2 - E_1, \quad \text{откуда выразим напряжение } U_{ab}:$$

$$U_{ab} = E_3 - E_2 - E_1 - I_2 \cdot (R_3 + R_2) + I_1 R_1 = 70 - 100 - 30 - 1 \cdot (2 + 6) + 10 \cdot 8 = 12 \text{ В}.$$

7. В схеме электрической цепи, приведенной на рисунке 16, определить токи в ветвях пользуясь законами Кирхгофа. Параметры элементов

даны:  $R_1 = 50 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом}, R_3 = 50 \text{ Ом}, R_4 = 80 \text{ Ом}, E_1 = 50 \text{ В}, E_2 = 400 \text{ В}$ .

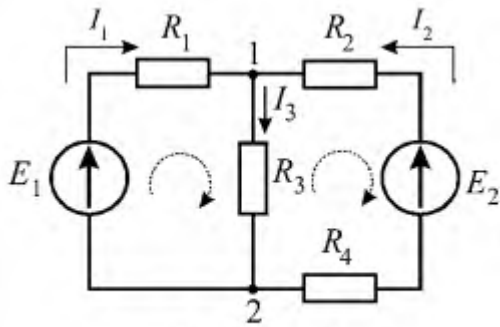


Рисунок 16

Решение:

Выбираем произвольно положительные направления искомых токов ветвей и обозначаем их на схеме. Составляем уравнение по первому закону Кирхгофа для узла 1. Выбрав направления обходов контуров, составляем уравнения по второму закону Кирхгофа. Получаем систему из трех уравнений:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1 \\ -I_2(R_2 + R_4) - I_3 R_3 = -E_2 \end{cases}$$

Решаем полученную систему уравнений с помощью

определителей:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 50 & 0 & 50 \\ 0 & -100 & -50 \end{vmatrix} = 12500; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 50 & 0 & 50 \\ -400 & -100 & -50 \end{vmatrix} = -12500;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 50 & 50 & 50 \\ 0 & -400 & -50 \end{vmatrix} = -37500; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 50 & 0 & 50 \\ 0 & -100 & -400 \end{vmatrix} = 25000.$$

Находим значения

токов:  $I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-12500}{12500} = -1 \text{ А}; I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{37500}{12500} = 3 \text{ А}; I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{25000}{12500} = 2 \text{ А}.$  Для

проверки правильности расчета составим уравнение баланса мощностей:

$$P_{\text{ист}} = P_{\text{потр}} \text{ Мощность источников:}$$

$$P_{\text{ист}} = I_1 E_1 + I_2 E_2 = -1 \cdot 50 + 3 \cdot 400 = 1150 \text{ Вт,}$$

$$P_{\text{потр}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 (R_2 + R_4) + I_3^2 R_3 = -1^2 \cdot 50 + 3^2 \cdot (20 + 80) + 2^2 \cdot 50 = 1150 \text{ Вт.}$$

8. Определить

токи ветвей цепи (рисунок 17), если:  $R_1 = 20 \text{ Ом}, R_2 = 40 \text{ Ом}, E_1 = 100 \text{ В}, J = 1 \text{ А}$

.Решение:

Произвольно задаемся положительными направлениями токов в ветвях с

сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ . В ветви с источником тока направление тока уже определено полярностью источника. Составляем уравнение по первому закону Кирхгофа для узла 1. Количество контурных уравнений зависит от количества ветвей с неизвестными токами, т.е. ветвей, не содержащих источники тока. Для данной цепи количество контурных уравнений равно 1. Составим систему

уравнений:  $\begin{cases} -I_1 - I_2 + J = 0 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = -E_1 \end{cases}$  или  $\begin{cases} -I_1 - I_2 = -J \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = -E_1 \end{cases}$  Решаем систему уравнений с помощью определителей:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 20 & -40 \end{vmatrix} = 40 + 20 = 60; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ -100 & -40 \end{vmatrix} = 40 - 100 = -60; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 20 & -100 \end{vmatrix} = 100 + 20 = 120.$$

$$\text{Определяем значения токов: } I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-60}{60} = -1 \text{ A}; \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{120}{60} = 2 \text{ A}.$$

1. Имеется два источника, причем для одного из них неизвестна полярность.

Каким образом, имея лишь электромагнитный вольтметр, можно определить неизвестную полярность источника?

Решение:

Путем присоединения к зажимам каждого источника вольтметра прежде всего определяем величины э.д.с.  $E_1$  и  $E_2$ .

Затем составляем неразветвленную цепь из двух источников и присоединяем вольтметр к свободным зажимам. Если в составленной цепи зажим «—» одного источника соединен с зажимом «+» другого источника, то на основании второго закона Кирхгофа показание вольтметра будет равно  $E_1 + E_2$ . Это «согласное» последовательное включение.

При «встречном» последовательном включении двух источников вольтметр, присоединенный к свободным зажимам, имеет показание, равное на основании второго закона Кирхгофа  $E_1 - E_2$ . При этом непосредственно соединены друг с другом одноименные полюсы источников.

2. В схеме измерительного моста (рис. 5)  $I_1 = I_4 = 0,1 \text{ A}$  и  $I_2 = 0,099 \text{ A}$

Определить величину и направление токов в гальванометре, в ветви 3 и в источнике.

Решение:

Зададимся направлением тока  $I_\varepsilon$  в гальванометре от точки В к точке D. Тогда на основании первого закона Кирхгофа для узловой точки D  $I_1 + I_\varepsilon = I_2$ . В результате

$$0,1 + I_\varepsilon = 0,099,$$

откуда

подстановки числовых значений получим  $I_\varepsilon = -0,001 \text{ A}$ .

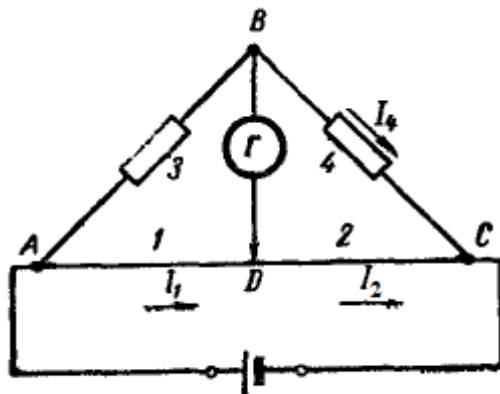


Рис. 5

Знак «минус» означает, что действительное направление тока противоположно принятому: ток  $I_2$  проходит в действительности от точки D к точке В.

О направлении тока в ветви 3 можно было бы догадаться, однако зададимся направлением тока  $I_3$  в ветви 3 произвольно, например от точки В к точке А. Тогда на основании первого закона Кирхгофа для узловой точки В

$I_3 + I_2 + I_4 = 0$ , так как все токи направлены от узловой точки В. Подставив

$$I_3 = (-0,001) + 0,1,$$

откуда

числовые значения, получим  $I_3 = 0,099 \text{ А}$ . Убеждаемся, что действительное

направление тока  $I_3$  противоположно принятому, т. е. от точки А к точке В.

Ток, проходящий через источник, определим на основании первого закона

$$I_2 + I_4 = I,$$

откуда

Кирхгофа для точки С:  $I = 0,099 + 0,1 = 0,199 \text{ А}$ . Направление тока в единственном источнике должно совпадать с направлением э.д.с.з. Ток в неразветвленной части цепи (рис. 7) равен 50 А.

При каких токах в ветвях их мощности будут отличаться в 4 раза?

Решение:

На обеих параллельных ветвях имеется общее напряжение  $U_{AB}$ . Следовательно,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{U_{AB} I_1}{U_{AB} I_2} = \frac{I_1}{I_2} = 4,$$

откуда

$$I_1 = 4I_2.$$

Кроме того, на основании первого закона Кирхгофа

$I = I_1 + I_2 = 50 \text{ А}$ . Выразив ток  $I_1$  через ток  $I_2$ , получим

$$4I_2 + I_2 = 50 \text{ А или } 5I_2 = 50 \text{ А},$$

откуда

$$I_2 = 10 \text{ А}.$$

Ток в другой параллельной ветви  $I_1 = 4I_2 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ А}$ .

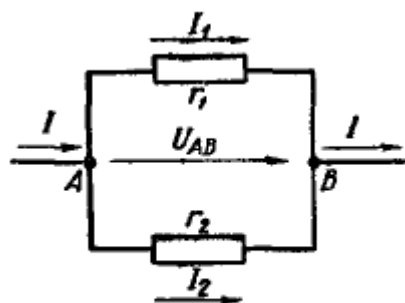


Рис. 7



## Постоянный электрический ток

1. В цепи, изображенной на рис. 34, найти токи через каждую ветвь, если ЭДС источников тока равны  $E_1 = 1 \text{ В}$ ,  $E_2 = 3 \text{ В}$ ,  $E_3 = 5 \text{ В}$ , а сопротивления —  $r_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $r_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $r_3 = 2 \text{ Ом}$ . Внутренним сопротивлением пренебречь.

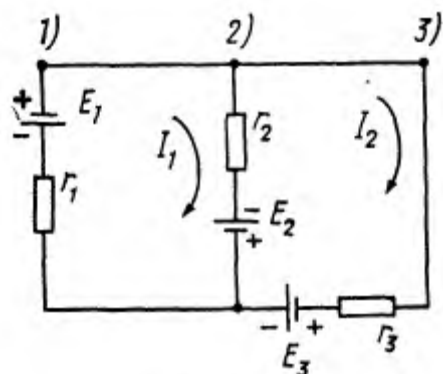


Рис. 34

Решение. Составляем уравнения для контурных токов (рис. 34):  $I_1(r_1 + r_2) - I_2 r_2 = E_1 + E_2$ ,  $-I_1 r_2 + I_2(r_2 + r_3) = -E_2 - E_3$ . (1) Подставляя числовые значения, получим  $6I_1 - 4I_2 = 4$ ,  $-4I_1 + 6I_2 = -8$ . (1')

Решаем систему (1') методом определителей Крамера  $I_1 = \Delta_1 / \Delta$ ,  $I_2 = \Delta_2 / \Delta$ , (2) где

$$\Delta = \begin{vmatrix} 6 & -4 \\ -4 & 6 \end{vmatrix} = 20; \Delta_1 = \begin{vmatrix} 4 & -4 \\ -8 & 6 \end{vmatrix} = -8; \Delta_2 = \begin{vmatrix} 6 & 4 \\ -4 & -8 \end{vmatrix} = -32.$$

Подставляя значения

$$I_1 = \Delta_1 / \Delta = -0,4 \text{ А},$$

определителей в (2), получим  $I_2 = \Delta_2 / \Delta = -1,6 \text{ А}$ . Находим физические токи.

В 1-й ветви физический и контурный токи совпадают:  $J_1 = I_1 = -0,4 \text{ А}$ . Знак минус означает, что реально ток течет в направлении, противоположном выбранному.

Во 2-й ветви физический ток равен  $J_2 = I_1 - I_2 = 1,2 \text{ А}$ . В 3-й ветви  $J_3 = I_2 = -1,6 \text{ А}$ . 2.

Определить сопротивление изоляции на один погонный метр длины провода диаметром  $d = 2 \text{ мм}$ , если диаметр наружной проводящей оболочки равен  $D = 4 \text{ мм}$ , а удельное сопротивление фарфоровой изоляции равно  $\rho = 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  (рис.

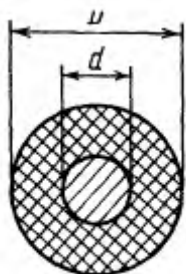


Рис. 35

35). Решение. В цилиндрической системе координат закон Ома в дифференциальной форме имеет вид (проекция на радиус-вектор)

$$j = \lambda E = E / \rho. \quad (1)$$

Электрическое поле  $E$  выразим через потенциал

$$|E| = \left| \frac{du}{dr} \right| = \frac{U_0}{\ln(D/d)} \frac{1}{r}, \quad (2)$$

где  $U_0$  — напряжение между проводом и наружной оболочкой изоляции.  
Из (1) и (2) найдем, что

$$j = \frac{U_0}{\rho \ln(D/d)} \frac{1}{r}.$$

Полный ток, отнесенный к длине провода  $l$ , будет

$$I = jS = \frac{U_0}{\rho \ln(D/d)} \frac{1}{r} 2\pi r l = \frac{2\pi U_0}{\rho \ln(D/d)}.$$

Так как согласно закону Ома сила тока пропорциональна напряжению, то сопротивление изоляции на единицу длины провода равно

$$R = \frac{\rho \ln(D/d)}{2\pi} = 1,1 \cdot 10^{12} \text{ Ом}.$$

3. Определить количество энергии, поглощаемой в единицу времени веществом с удельным сопротивлением  $\rho = 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , которое заполняет пространство между двумя сферическими оболочками с радиусами  $R_1 = 1 \text{ см}$  и  $R_2 = 2 \text{ см}$ , между которыми поддерживается разность потенциалов  $U_0 = 1000 \text{ В}$ . Решение. Используя закон Джоуля—Ленца в дифференциальной форме, найдем поглощаемую мощность в виде интеграла по сферическому слою (рис. 36):  $P = \int i^2 \rho dV$ . (1) В силу сферической симметрии задачи  $dV = 4\pi r^2 dr$ . (2) Решая задачу типа 2.,

найдем  $j = U_0 \frac{1}{\rho(1/R_1 - 1/R_2)} \frac{1}{r^2}$ . Комбинируя (1) — (3), окончательно находим

$$P = \frac{4\pi U_0^2}{\rho} \frac{1}{(1/R_1 - 1/R_2)^2} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{4\pi U_0^2}{\rho} \frac{R_2 R_1}{R_2 - R_1} = 0,25 \text{ мВт}.$$

## Последовательное и параллельное соединения проводников

1 Какое надо взять сопротивление  $R$ , чтобы можно было включить в сеть с напряжением  $V=220 \text{ В}$  лампу, рассчитанную на напряжение  $V_0 = 120 \text{ В}$  и ток  $I_0 = 4 \text{ А}$ ?

Решение:

$$R = (V - V_0) / I_0 = 25 \text{ Ом}.$$

2 Две дуговые лампы и сопротивление  $R$  соединены последовательно и включены в сеть с напряжением  $V=110 \text{ В}$ . Найти сопротивление  $R$ , если каждая лампа рассчитана на напряжение  $V_0 = 40 \text{ В}$ , а ток в цепи  $I=12 \text{ А}$ .

Решение:

Напряжение на сопротивлении

$$V_R = V - 2V_0.$$

По закону Ома

$$I_R = IR;$$

отсюда

$$R = (V - 2V_0)/I = 2,5 \text{ Ом.}$$

3 Для измерения напряжения на участке цепи последовательно включены два вольтметра (рис. 88). Первый вольтметр дал показание  $V_1 = 20$  В, второй—  $V_2 = 80$  В. Найти сопротивление второго вольтметра  $R_2$ , если сопротивление первого вольтметра  $R_1 = 5$  кОм.

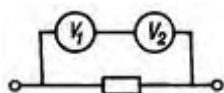


Рис. 88

Решение:

Через вольтметры протекает один и тот же ток  $I$ . Так как вольтметр показывает напряжение на собственном сопротивлении, то  $I = V_1/R_1$

и сопротивление второго вольтметра

$$R_2 = V_2/I = V_2R_1/V_1 = 2 \text{ кОм.}$$

4 Реостат из железной проволоки, миллиамперметр и источник тока включены последовательно. При температуре  $t_0 = 0^\circ \text{C}$  сопротивление реостата  $R_0 = 200$  Ом. Сопротивление миллиамперметра  $R = 20$  Ом, его показание  $I_0 = 30$  мА. Какой ток  $I_t$  будет показывать миллиамперметр, если реостат нагреется до температуры  $t = 50^\circ \text{C}$ ? Температурный коэффициент сопротивления железа  $\alpha = 6 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ .

Решение:

$$I_t = I_0(R_0 + R)/[R_0(1 + \alpha t) + R] = 23,6 \text{ мА.}$$

Последовательное и параллельное соединения проводников. Добавочные сопротивления и шунты

5 Проводник с сопротивлением  $R = 2000$  Ом состоит из двух последовательно соединенных частей: угольного стержня и проволоки, имеющих температурные

коэффициенты сопротивления  $\alpha_1 = -10 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$  и  $\alpha_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ . Какими следует выбрать сопротивления этих частей, чтобы общее сопротивление проводника  $R$  не зависело от температуры?

Решение:

При температуре  $t$  общее сопротивление последовательно включенных частей проводника с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  будет

$$R = R_1 + R_2 = R_1(1 + \alpha_1 t) + R_2(1 + \alpha_2 t) = R_1 + R_2 + (\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2)t,$$

где  $R_{10}$  и  $R_{20}$  - сопротивления угольного стержня и проволоки при  $t_0=0^\circ \text{C}$ . Общее сопротивление проводника не зависит от температуры, если

$$\alpha_1 R_{10} + \alpha_2 R_{20} = 0.$$

В этом случае при любой температуре

$$R = R_{10} + R_{20}.$$

Из последних двух уравнений найдем

$$R_{10} = \alpha_2 R / (\alpha_2 - \alpha_1) = R/6 = 333 \text{ Ом},$$

$$R_{20} = -\alpha_1 R / (\alpha_2 - \alpha_1) = 5R/6 = 1667 \text{ Ом}.$$

6 Составить такую схему электропроводки для освещения одной лампочкой коридора, которая позволяет включать и выключать свет независимо в любом конце коридора.

Решение:

Схемы электропроводки, позволяющие включать и выключать лампочку в любом конце коридора, показаны на рис. 347. У концов коридора устанавливаются два переключателя  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  каждый из которых имеет два положения. В зависимости от расположения выводов от сети может оказаться выгоднее с точки зрения экономии проводов вариант а) или б).

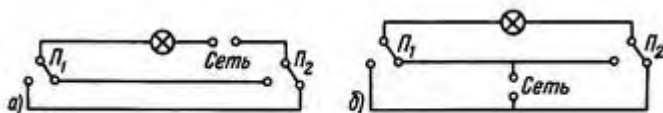


Рис. 347

7 В сеть с напряжением  $V = 120 \text{ В}$  включены две электрические лампочки с одинаковыми сопротивлениями  $R = 200 \text{ Ом}$ . Какой ток пойдет через каждую лампочку при их параллельном и последовательном соединениях?

Решение:

$I_1 = V/R = 0,6 \text{ А}$  при параллельном соединении;  $I_2 = V/2R = 0,3 \text{ А}$  при последовательном соединении.

8 Реостат со скользящим контактом, соединенный по схеме, приведенной на рис. 89, является потенциометром (делителем напряжения). При перемещении движка потенциометра снимаемое с него напряжение  $V_x$  изменяется от нуля до напряжения на клеммах источника тока  $V$ . Найти зависимость напряжения  $V_x$  от положения движка. Построить график этой зависимости для случая, когда полное сопротивление потенциометра  $R_0$  во много раз меньше сопротивления вольтметра  $r$ .

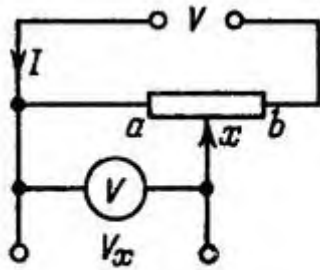


Рис. 89

Решение:

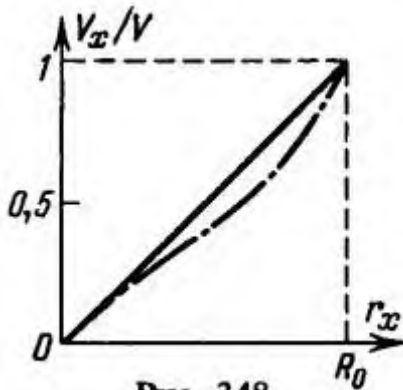


Рис. 348

Пусть при данном положении движка сопротивление участка ax потенциометра равно  $r_x$  (рис. 89). Тогда общее сопротивление этого участка и вольтметра (они соединены параллельно)  $R_x = r_x r / (r_x + r)$ , а сопротивление остальной части потенциометра xb равно  $R_0 - r_x$ . Таким образом, полное сопротивление между точками a и b будет

$$R = R_0 - r_x + R_x = R_0 - r_x + \frac{r_x r}{r_x + r} = \frac{r_x (R_0 - r_x) + R_0 r}{r_x + r}$$

Ток в цепи  $I = V/R$ . Напряжение на участке ax

$$V_x = IR_x = \frac{V}{R} R_x = \frac{r_x r V}{r_x (R_0 - r_x) + R_0 r}$$

Так как по условию  $R_0 \ll r$  и, кроме того,  $r_x \leq R_0$ , то первым членом в знаменателе можно пренебречь по сравнению со вторым (первый член представляет собой произведение двух малых величин  $r_x$  и  $R_0 - r_x$ , в то время как второй - произведение малой величины  $R_0$  на большую величину  $r$ ). Следовательно,

$$V_x \approx r_x V / R_0,$$

т.е. напряжение  $V_x$  пропорционально сопротивлению  $r_x$ . В свою очередь сопротивление  $r_x$  пропорционально длине участка ax.

На рис. 348 сплошная прямая показывает зависимость  $V_x$  от  $r_x$ , штрихпунктирная линия - зависимость  $V_x$  от  $r_x$ , когда  $R_0 \sim r$ , т.е. когда в выражении для  $V_x$  нельзя пренебречь первым членом в знаменателе. Эта зависимость не является линейной, однако и в этом случае  $V_x$  изменяется в пределах от нуля до напряжения на клеммах источника  $V$ .

9 Найти сопротивление  $R$  биметаллического (железо— медь) провода длины  $l=100\text{м}$ . Диаметр внутренней (железной) части провода  $d=2\text{ мм}$ , общий диаметр провода  $D = 5\text{ мм}$ . Удельные сопротивления железа и меди  $\rho_1 = 0,12\text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ,  $\rho_2 = 0,017\text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Для сравнения найти сопротивления железного и медного проводов  $R_{\text{ж}}$  и  $R_{\text{м}}$  диаметра  $D$  и длины  $l$ .

Решение:

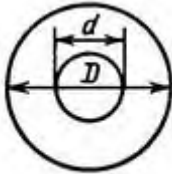


Рис. 349 Площади сечения железной и медной частей провода

$$S_1 = \pi d^2/4 \text{ и } S_2 = \pi(D^2 - d^2)/4$$

(рис. 349). Их сопротивления

$$R_1 = \rho_1 l/S_1 \text{ и } R_2 = \rho_2 l/S_2.$$

Сопротивление  $R$  биметаллического провода находится по формуле параллельного соединения проводников:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4l\rho_1\rho_2}{\pi(\rho_1 D^2 + (\rho_2 - \rho_1)d^2)} \approx 0,1 \text{ Ом}$$

Сопротивления железного и медного проводов диаметра  $D$  и длины  $l$

$$R_{\text{ж}} = 4l\rho_1/\pi D^2 = 0,61 \text{ Ом}, \quad R_{\text{м}} = 4l\rho_2/\pi D^2 = 0,087 \text{ Ом}.$$

10 Найти общее сопротивление проводников, включенных в цепь по схеме, изображенной на рис. 90, если сопротивления  $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 1\text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10\text{ Ом}$ ,  $R_4 = 8\text{ Ом}$ .

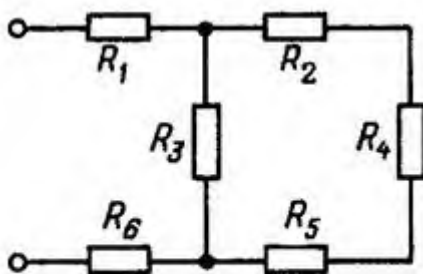


Рис. 90

Решение:

$$R = \frac{(R_1 + R_6)(R_2 + R_3 + R_4 + R_5) + (R_2 + R_4 + R_5)R_3}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5} = 7 \text{ Ом}$$

## Последовательное и параллельное соединения источников тока

1 Найти разность потенциалов между точками a и b в схеме, изображенной на рис. 118. Э. д. с. источников тока  $\epsilon_1 = 1$  В и  $\epsilon_2 = 1,3$  В, сопротивления резисторов  $R_1 = 10$  Ом и  $R_2 = 5$  Ом.

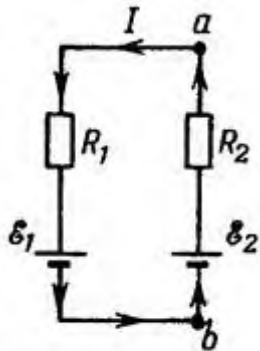


Рис. 118

Решение:

Поскольку  $\epsilon_2 > \epsilon_1$  то ток  $I$  будет идти в направлении, указанном на рис. 118, при этом разность потенциалов между точками a и b

$$V = \epsilon_1 + IR_1 = \epsilon_2 - IR_2 = (\epsilon_2 R_1 + \epsilon_1 R_2) / (R_1 + R_2) = 1,2 \text{ В.}$$

2 Два элемента с э. д. с.  $\epsilon_1 = 1,5$  В и  $\epsilon_2 = 2$  В и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,6$  Ом и  $r_2 = 0,4$  Ом соединены по схеме, изображенной на рис. 119. Какую разность потенциалов между точками a и b покажет вольтметр, если сопротивление вольтметра велико по сравнению с внутренними сопротивлениями элементов?

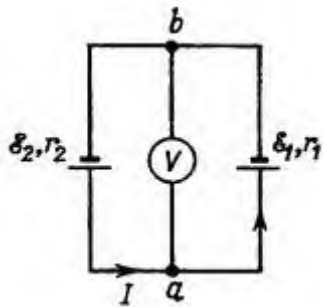


Рис. 119

Решение:

Поскольку  $\epsilon_2 > \epsilon_1$ , то ток  $I$  будет идти в направлении, указанном на рис. 119. Током через вольтметр пренебрегаем ввиду

того, что его сопротивление велико по сравнению с внутренними сопротивлениями элементов. Падение напряжения на внутренних сопротивлениях элементов должно равняться разности э. д. с. элементов, так как они включены

навстречу друг другу:  $I(r_1 + r_2) = \epsilon_2 - \epsilon_1$ ;

отсюда

$$I = (\epsilon_2 - \epsilon_1) / (r_1 + r_2).$$

Разность потенциалов между точками a и b (показание вольтметра)

$$V = \varepsilon_1 + Ir_1 = (\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1) / (r_1 + r_2) = 1,8 \text{ В.}$$

Последовательное и параллельное соединения источников тока. Правило Кирхгофа

3 Два элемента с э. д. с.  $\varepsilon_1 = 1,4 \text{ В}$  и  $\varepsilon_2 = 1,1 \text{ В}$  и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,3 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 0,2 \text{ Ом}$  замкнуты разноименными полюсами (рис. 120). Найти напряжение на зажимах элементов. При каких условиях разность потенциалов между точками a и b равна нулю?

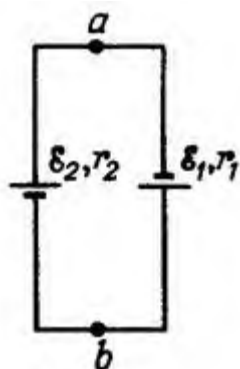


Рис. 120

Решение:

$$V = (\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1) / (r_1 + r_2) = -0,1 \text{ В}; V_{ab} = 0 \text{ при } \varepsilon_1 r_2 = \varepsilon_2 r_1.$$

4 Два источника тока с одинаковыми э. д. с.  $\varepsilon = 2 \text{ В}$  и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,4 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 0,2 \text{ Ом}$  соединены последовательно. При каком внешнем сопротивлении цепи R напряжение на зажимах одного из источников будет равным нулю?

Решение:

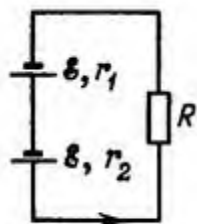


Рис. 361 Ток в цепи

$$I = 2\varepsilon / (R + r_1 + r_2)$$

(рис.361). Напряжения на зажимах источников тока

$$V_1 = \varepsilon - Ir_1 \text{ и } V_2 = \varepsilon - Ir_2.$$

Решая первые два уравнения при условии  $V_1 = 0$ , получим

$$R = r_1 - r_2 = 0,2 \text{ Ом.}$$

Условие  $V_2 = 0$  неосуществимо, так как совместное решение первого и третьего уравнений приводит к значению  $R < 0$ .



5 Найти внутреннее сопротивление  $r_1$  первого элемента в схеме, изображенной на рис. 121, если напряжение на его зажимах равно нулю. Сопротивления резисторов  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ , внутреннее сопротивление второго элемента  $r_2 = 0,4 \text{ Ом}$ , э. д. с. элементов одинаковы.

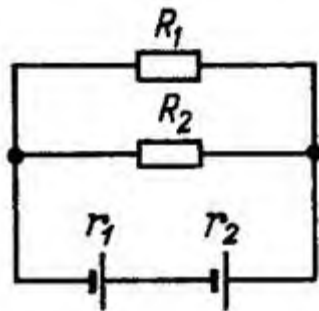


Рис. 121

Решение:

Ток в общей цепи

$$I = 2\varepsilon / (R + r_1 + r_2),$$

где внешнее сопротивление цепи

$$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

По условию задачи напряжение на зажимах первого элемента

$$V = \varepsilon - I r_1 = 0;$$

отсюда

$$r_1 = [R_1 R_2 + r_2 (R_1 + R_2)] / (R_1 + R_2) = 2,4 \text{ Ом}.$$

6 При каком соотношении между сопротивлениями резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и внутренними сопротивлениями элементов  $r_1$ ,  $r_2$  (рис. 122) напряжение на зажимах одного из элементов будет равно нулю? Э. д. с. элементов одинаковы.

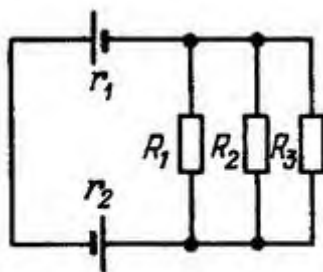


Рис. 122

Решение:

$$R = r_1 - r_2, \text{ где } R = R_1 R_2 R_3 / (R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2)$$

7 Два генератора с одинаковыми э. д. с.  $\varepsilon = 6 \text{ В}$  и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,5 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 0,38 \text{ Ом}$  включены по схеме, изображенной на рис. 123.

Сопротивления резисторов  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 7 \text{ Ом}$ . Найти напряжения  $V_1$  и  $V_2$  на зажимах генераторов.

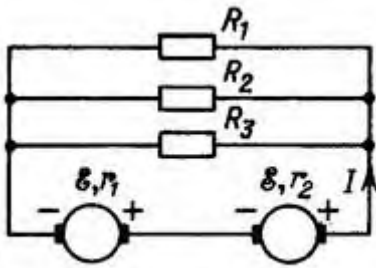


Рис. 123

Решение:

Ток в общей цепи

$$I = 2\varepsilon / (R + r_1 + r_2),$$

где внешнее сопротивление цепи

$$R = R_1 R_2 R_3 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3).$$

Напряжения на зажимах первого и второго генератора

$$V_1 = \varepsilon - Ir_1 = \frac{\varepsilon [R_1 R_2 R_3 + (r_2 - r_1)(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)]}{R_1 R_2 R_3 + (r_2 + r_1)(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)} = 3 \text{ В},$$

напряжение на зажимах второго генератора

$$V_2 = \varepsilon - Ir_2 = \frac{\varepsilon [R_1 R_2 R_3 + (r_1 - r_2)(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)]}{R_1 R_2 R_3 + (r_1 + r_2)(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)} = 3,72 \text{ В}.$$

8 Три элемента с э. д. с.  $\varepsilon_1 = 2,2 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 1,1 \text{ В}$  и  $\varepsilon_3 = 0,9 \text{ В}$  и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 0,2 \text{ Ом}$ ,  $r_2 = 0,4 \text{ Ом}$  и  $r_3 = 0,5 \text{ Ом}$  включены в цепь последовательно. Внешнее сопротивление цепи  $R = 1 \text{ Ом}$ . Найти напряжение на зажимах каждого элемента.

Решение:

По закону Ома для полной цепи ток

$$I = \varepsilon / (R + r), \text{ где } \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \text{ и } r = r_1 + r_2 + r_3$$

Напряжение на зажимах каждого элемента равно разности э. д. с. и падения напряжения на внутреннем сопротивлении элемента:

$$V_1 = \varepsilon_1 - Ir_1 = \frac{\varepsilon_1 (R + r_2 + r_3) - (\varepsilon_2 + \varepsilon_3) r_1}{R + r_1 + r_2 + r_3} = 1,8 \text{ В},$$

$$V_2 = \varepsilon_2 - Ir_2 = \frac{\varepsilon_2 (R + r_1 + r_3) - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3) r_2}{R + r_1 + r_2 + r_3} = 0,3 \text{ В},$$

$$V_3 = \varepsilon_3 - Ir_3 = \frac{\varepsilon_3 (R + r_1 + r_2) - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) r_3}{R + r_1 + r_2 + r_3} = -0,1 \text{ В}.$$

Напряжение на зажимах батареи элементов равно падению напряжения на внешнем сопротивлении цепи:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 2 \text{ В.}$$

Напряжение на зажимах третьего элемента оказалось отрицательным, так как ток определяется всеми сопротивлениями цепи и суммарной э.д.с, а падение напряжения на внутреннем сопротивлении  $r_3$  больше, чем э.д.с.  $e_3$ .

9 Батарея из четырех последовательно включенных в цепь элементов с э. д. с.  $e = 1,25 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,1 \text{ Ом}$  питает два параллельно соединенных проводника с сопротивлениями  $R_1 = 50 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 200 \text{ Ом}$ . Найти напряжение на зажимах батареи.

Решение:

$$V = IR = 4 \varepsilon R_1 R_2 / [R_1 R_2 + 4r(R_1 + R_2)] = 4,95 \text{ В.}$$

10 Сколько одинаковых аккумуляторов с э. д. с.  $e = 1,25 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,004 \text{ Ом}$  нужно взять, чтобы составить батарею, которая давала бы на зажимах напряжение  $V = 115 \text{ В}$  при токе  $I = 25 \text{ А}$ ?

Решение:

Напряжение на зажимах батареи

$$V = n\varepsilon - Inr.$$

Следовательно,

$$n = V / (\varepsilon - Ir) = 100.$$

### Расчет силы тока

1. Электрический аккумулятор емкостью  $45 \text{ а·ч}$  заряжают  $8 \text{ ч}$ , уменьшая через каждые два часа ток вдвое.

Определить значение тока в каждом периоде зарядки. Решение:

Емкостью зарядки аккумулятора  $q$  называют количество электричества, сообщенное аккумулятору во время зарядки.

Всего было  $\frac{t}{2} = \frac{8}{2} = 4$  двухчасовых периода зарядки. Если обозначить ток в

первом периоде зарядки через  $I$ , то во втором периоде зарядки он будет равен  $\frac{I}{2}$ ,

в третьем  $\frac{I}{4}$ , в четвертом  $\frac{I}{8}$ .

При постоянном токе  $I$  количество электричества  $q$ , перенесенное в цепи материальными частицами за время  $t$ , равно произведению времени и тока:  $q = It$ .

Поэтому при четырех периодах зарядки количество

$$q = It_1 + \left(\frac{I}{2}\right)t_2 + \left(\frac{I}{4}\right)t_3 + \left(\frac{I}{8}\right)t_4,$$

электричества  
где

$$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 2\text{ч.} \quad 45 = 2 \left( I + \frac{I}{2} + \frac{I}{4} + \frac{I}{8} \right),$$

или

$$45 = 2 \cdot \frac{15}{8} \cdot I,$$

откуда  $I = 12 \text{ А}$ .

Следовательно, для первого периода зарядки  $I=12 \text{ а}$ , для второго периода  $I=6 \text{ а}$ , для третьего  $I=3 \text{ а}$  и для четвертого  $I=1,5 \text{ а}$ .

2. Начальный ток зарядки аккумулятора, равный  $10 \text{ а}$ , каждые два часа уменьшали в два раза.

Сколько времени потребуется для зарядки аккумулятора емкостью  $35 \text{ а}\cdot\text{ч}$  ?

Решение:

Количества электричества  $q_1, q_2$  и т. д., сообщаемые аккумулятору в следующие друг за другом двухчасовые периоды зарядки, представляют собой члены

убывающей геометрической прогрессии; знаменатель этой прогрессии  $\varphi = \frac{1}{2}$ , а первый член  $q_1 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ а}\cdot\text{ч}$ .

Емкость  $q$  аккумулятора равна сумме количества электричества  $q_1, q_2$  и т. д., т. е. сумме искомым  $n$  членов прогрессии, где  $n$  — число двухчасовых периодов зарядки.

Таким образом, можно применить формулу суммы  $n$  членов убывающей

$$q = q_1 \frac{1 - \varphi^n}{1 - \varphi}.$$

геометрической прогрессии:

Подставим числовые значения:

$$35 = 20 \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{2}\right)^n}{1 - \frac{1}{2}},$$

или  $7 = 8 \left(1 - \frac{1}{2^n}\right)$ , откуда  $7 = 8 - \frac{8}{2^n}$ , и, наконец,  $1 = \frac{8}{2^n}$ , где  $2^n = 2^3$ .

Следовательно,  $n=3$  искомое время зарядки аккумулятора  $t=2n= 6 \text{ ч}$ . 3. В табл. 1 приведены значения [номинальных токов](#) для различных сечений медных проводов с резиновой изоляцией при открытой прокладке.

Определить допустимую плотность тока.

Таблица 1

$S, \text{ мм}^2$	1	4	10	25	50
$I, \text{ А}$	17	41	80	140	210

Решение:

Плотностью тока  $\delta$  называется отношение тока к площади поперечного сечения:

$$\delta = \frac{I}{S}.$$

Пользуясь этой формулой, получим соответственно табл. 1 следующие значения плотности тока:

$$\delta = \frac{I}{S}, \text{ а/мм}^2 \quad 17 \quad 10,25 \quad 8,0 \quad 5,6 \quad 4,3$$

Допускаемая плотность тока  $\delta$  меньше для проводов большего поперечного сечения. Это объясняется худшими условиями охлаждения проводов большого диаметра.

Действительно, пусть длина провода  $l=1$  м. Тогда боковая поверхность цилиндра, через которую происходит охлаждение,

$$S_{\text{охл}} = \pi dl = 1000\pi d \text{ мм}^2. \text{ Между тем площадь поперечного сечения}$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \text{ мм}^2.$$

На единицу площади поперечного сечения  $S$  из всей поверхности

охлаждения  $S_{\text{охл}}$  приходится  $\frac{S_{\text{охл}}}{S} = \frac{1000\pi d}{\pi d^2/4} = \frac{4000}{d}$  - удельная поверхность охлаждения.

Следовательно, с увеличением диаметра  $d$  уменьшается поверхность охлаждения, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения.

Диаметр  $d$ , найденный из формулы площади поперечного сечения

$$S, \quad d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \frac{\sqrt{4S}}{\sqrt{\pi}} = \frac{\sqrt{4S}}{1,77} = 0,56\sqrt{4S}. \quad \text{При } S_1 = 4 \text{ мм}^2$$

$$d_1 = 0,56\sqrt{4 \cdot 4} = 0,56 \cdot 4 = 2,24 \text{ мм. При } S_2 = 25 \text{ мм}^2$$

$$d_2 = 0,56\sqrt{4 \cdot 25} = 0,56 \cdot 10 = 5,60 \text{ мм.}$$

Во втором случае удельная поверхность охлаждения меньше

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{5,60}{2,24} = 2,5$$

в  $\frac{d_2}{d_1}$  раза; это отношение приблизительно равно отношению допустимых плотностей тока:

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{10,25}{5,6} = 1,83.$$

4. Что можно нагрузить больше — круглый медный провод сечением  $50 \text{ мм}^2$  или прямоугольную шину с размерами  $6 \times 10$  мм при прочих равных условиях, учитывая величину поверхности охлаждения? Решение:

Рассмотрим шину длиной  $l=1$  м = 1000 мм. Боковая поверхность охлаждения шины, имеющей прямоугольное поперечное сечение,

$$S_{1\text{охл}} = 2bl + 2hl = 2 \cdot 5 \cdot 1000 + 2 \cdot 10 \cdot 1000 = 10000 \text{ мм}^2 + 20000 \text{ мм}^2 = 30000 \text{ мм}^2. \text{ Диаметр}$$

круглого провода сечением  $50 \text{ мм}^2$  (см. решение задачи 3)

$$d = 0,56\sqrt{4S} = 0,56\sqrt{4 \cdot 50} = 0,56 \cdot 10 \cdot \sqrt{2} = 5,6 \cdot 1,41 = 7,9 \text{ мм. Поверхность охлаждения его}$$

как боковая поверхность цилиндра  $S_{2\text{охл}} = \pi dl = 3,14 \cdot 7,9 \cdot 1000 = 24800 \text{ мм}^2$ . Отсюда

следует, что прямоугольная шина может быть нагружена током больше, чем круглая при одинаковой площади поперечного сечения и при прочих равных условиях.

5. К концу двухпроводной линии напряжением 220 В присоединены электродвигатель, имеющий номинальную мощность 3,8 кВт при коэффициенте

полезного действия  $\eta = 85\%$ , электрическая печь мощностью 1,1 кВт и 22 лампы мощностью 25 Вт каждая.

Определить ток в линии. Решение:

Мощность на входе электродвигателя  $P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta} = \frac{3,8}{0,85} = 4,4 \text{ кВт}$ . Ток в цепи электродвигателя  $I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{4400}{220} = 20 \text{ А}$ . Ток печи  $I_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{1100}{220} = 5 \text{ А}$ . Ток группы электрических ламп  $I_3 = \frac{P_3}{U} = \frac{25 \cdot 22}{220} = 2,5 \text{ А}$ . Указанные три приемника энергии присоединены к линии, т. е. включены параллельно между собой. Поэтому в проводах линии проходит суммарный ток этих приемников, который в соответствии с первым законом Кирхгофа равен

$I = I_1 + I_2 + I_3 = 20 + 5 + 2,5 = 27,5 \text{ А}$ . 6. Номинальные данные декоративных электрических ламп равны 6 В и 1,8 Вт.

Какое наименьшее число ламп потребуется для елочной гирлянды, если ее присоединяют к сети напряжением 127 в, и какой ток будет в цепи гирлянды? Решение:

В гирлянде лампы соединены последовательно, поэтому сумма номинальных напряжений ламп должна быть равна напряжению сети:  $U = U_{ном} n$ , откуда

наименьшее число ламп  $n = \frac{U}{U_{ном}} = \frac{127}{6} = 21$ . Ток всех ламп гирлянды одинаков и

равен  $I = \frac{P_{ном}}{U_{ном}} = \frac{1,8}{6} = 0,3 \text{ А}$ .

7. В одном из цехов фабрики из-за большой влажности воздуха ухудшилась изоляция проводов относительно сети и земли. Сопротивление изоляции первого провода понизилось до 100 000 Ом, второго до 80 000 Ом. Электромонтер, стоя на сыром полу (т. е. фактически на земле), коснулся оголившегося участка первого провода (рис. 10).

Определить ток, замкнувшийся через тело человека, приняв сопротивление тела  $r = 50\ 000$  Ом при напряжении сети  $U = 120$  В.

Решение:

Ток от зажима «+» установки пройдет через сопротивление  $r_2$  относительно земли, через землю, далее он разветвится между сопротивлением изоляции провода 1 относительно земли и телом человека (сопротивление  $r$ ), достигнет зажима «—» установки и, наконец, через источник — зажима «+» источника. Электрическое сопротивление на внешнем участке цепи от зажима «+» к зажиму

«—»  $r_{зкв} = r_2 + \frac{r_1 r}{r_1 + r} = 80000 + \frac{100000 \cdot 50000}{100000 + 50000} = 80000 + \frac{100000}{1+2} = \frac{340000}{3} \text{ Ом}$ . Ток, проходящий через

сопротивление  $r_2$ ,  $I_2 = \frac{U}{r_{зкв}} = \frac{120 \cdot 3}{340000} = \frac{36}{34} \cdot 10^{-3} = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ А}$

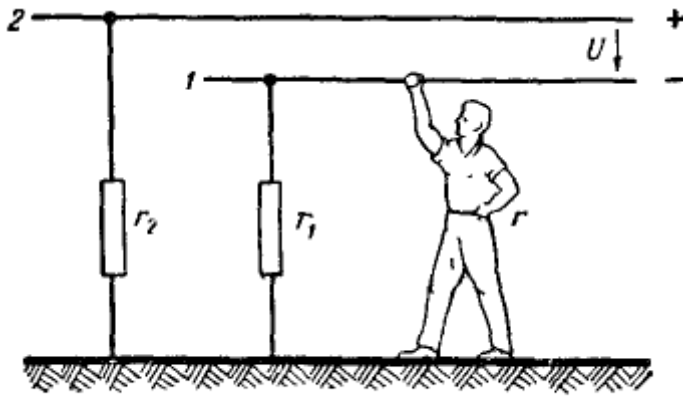


Рис. 10

Напряжение между проводом «—» и землей, а следовательно, между рукой и ногами электромонтера (см. рис. 10)

$$U_1 = I_2 \frac{r_1 r}{r_1 + r} = 1,05 \cdot 10^{-3} \frac{100000}{3} = 35 \text{ В.}$$

Ток, проходящий через тело электромонтера,

$$I = \frac{U_1}{r} = \frac{35}{50000} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 0,7 \text{ мА.}$$

1. В схеме (рис. 11) напряжение на шинах электростанции  $U_{AB} = 120 \text{ В}$  и ток в линии  $I = 12 \text{ А}$ .

Определить токи в остальных ветвях схемы и направление э.д.с.  $E_1$ , если э.д.с. аккумуляторной батареи  $E_2 = 140 \text{ В}$ ,  $r_1 = 1 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 1 \text{ Ом}$ .

Решение:

Шины на электростанциях имеют достаточно большую площадь поперечного сечения; ввиду малости электрического сопротивления шин (обычно медных) им можно пренебречь.

В этих условиях при прохождении электрического тока потенциал шин не изменяется. Отсюда каждая шина — узловая точка; в рассматриваемой схеме точки А и В являются узловыми. Нам неизвестно, как направлен ток  $I_2$  в ветви батареи. Примем его направление совпадающим с направлением э.д.с.  $E_2$ . Это соответствует разрядке аккумуляторной батареи, для которой можно записать  $U_{AB} = E_2 - r_2 I_2$ . Подставив числовые значения, получим  $120 = 140 - I_2$ , откуда  $I_2 = 20 \text{ А}$ .

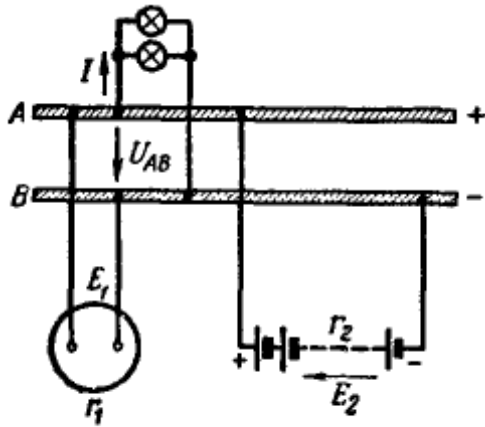


Рис. 11

Положительный знак означает, что принятое направление тока  $I_2$  совпадает с действительным. Не зная, как направлен ток  $I_1$  в ветви с э.д.с.  $E_1$ , примем его направление от точки В к точке А. Тогда на основании первого закона Кирхгофа, учитывая, что токи  $I_1$  и  $I_2$  направлены к точке А (к шине «+»), а ток  $I$  — от точки А, запишем

$$I_1 + I_2 = I, \text{ откуда } I_1 = I - I_2 = 12 - 20 = -8 \text{ A}$$

Отрицательный знак означает, что выбранное направление тока  $I_1$  противоположно действительному и ток  $I_1$  направлен в действительности от точки А к точке В.

Осталось определить направление э.д.с.  $E_1$  машины. Примем его совпадающим с действительным направлением тока  $I_1$ , т. е. от точки А к точке В. Так бывает, когда машина с э.д.с.  $E_1$  работает в режиме генератора. Для контура, в который входит эта ветвь, можно записать

$$E_1 = rI - U_{AB}, \quad E_1 = 1 \cdot 8 - 120, \text{ откуда } E_1 = -112 \text{ В.}$$

Отрицательный знак означает, что принятое направление э.д.с.  $E_1$  (от точки А к точке В) противоположно действительному и машина работает в режиме электродвигателя.

Э.д.с.  $E_1$  направлена встречно току  $I_1$  и называется встречной э.д.с.

Электрическая мощность при генерировании

энергии  $E_2 I_2 = 140 \cdot 20 = 2800 \text{ Вт}$  равна электрической мощности при потреблении энергии:

$$E_1 I_1 = 112 \cdot 8 = 896 \text{ Вт},$$

$$r_1 I_1^2 = 1 \cdot 8^2 = 64 \text{ Вт},$$

$$r_2 I_2^2 = 1 \cdot 20^2 = 400 \text{ Вт},$$

$$P = 1440 \text{ Вт.}$$

Очевидно,  $E_2 I_2 = E_1 I_1 + r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2 + P$ , где  $P$  — мощность

приемника энергии. 2. Шесть первичных элементов ( $E = 1,1 \text{ В}$ ,  $r_0 = 3 \text{ Ом}$ ) требуется соединить в батарею.



При каком из четырех возможных соединений будет наибольший ток, если сопротивление внешней цепи 2 Ом? Решение:

При последовательном соединении первичных элементов

$$I_1 = \frac{6E}{6r_0 + r} = \frac{6 \cdot 1,1}{6 \cdot 3 + 2} = \frac{6,6}{20} = 0,33 \text{ A.}$$

При параллельном соединении первичных

$$I_2 = \frac{E}{\frac{r_0}{6} + r} = \frac{1,1}{\frac{3}{6} + 2} = \frac{1,1}{2,5} = 0,44 \text{ A.}$$

элементов

При трех параллельных группах в

батарее и при двух элементах в каждой группе

$$I_3 = \frac{2E}{\frac{2r_0}{3} + r} = \frac{2 \cdot 1,1}{\frac{2 \cdot 3}{3} + 2} = \frac{2,2}{4} = 0,55 \text{ A.}$$

При двух параллельных группах в батарее и при

$$I_4 = \frac{3E}{\frac{3r_0}{2} + r} = \frac{3 \cdot 1,1}{\frac{3 \cdot 3}{2} + 2} = \frac{3,3}{6,5} = 0,507 \text{ A.}$$

трех элементах в каждой группе

Иметь наибольший ток необходимо в том случае, если внешней цепью является нагревательный элемент или нить накала электронной лампы.

Данная задача подтверждает положение, что наибольший ток получается при том соединении, при котором внутреннее сопротивление батареи равно сопротивлению внешней цепи.

3. Для цепи схемы рис. 1.1 найти эквивалентные сопротивления между зажимами

a и b, c и d, d и f, если  $R_1 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 30 \text{ Ом}$  и  $R_5 = 6 \text{ Ом}$

.Решение:

Рассчитываем сопротивление  $R_{ab}$ . Эквивалентное сопротивление соединенных параллельно сопротивлений  $R_4$  и  $R_5$  найдем по формуле (0.1.16):

$$R_{45} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} = \frac{30 \cdot 6}{30 + 6} = 5 \text{ Ом.}$$

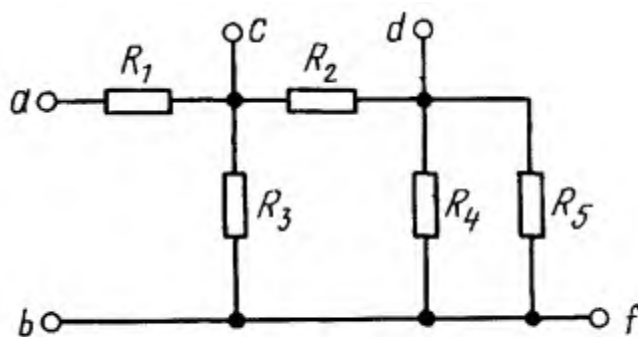


Рис. 1.1

Сопротивление  $R_{45}$  соединено последовательно с  $R_2$ . Их общее сопротивление  $R' = R_2 + R_{45} = 5 + 5 = 10 \text{ Ом}$ .

Сопротивление цепи состоит из сопротивления  $R_1$  последовательно с которым соединены два параллельных сопротивления  $R'$  и  $R_3$ :

$$R_{ab} = R_1 + \frac{R' R_3}{R' + R_3} = 6 + \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 12 \text{ Ом.}$$

Рассчитываем сопротивление  $R_{cd}$ .

Сопротивления  $R_4$  и  $R_5$  соединены параллельно друг другу;

сопротивление  $R_3$  присоединено к ним последовательно:

$$R'' = R_3 + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} = 15 + 5 = 20 \text{ Ом.}$$

Сопротивление  $R_{cd}$  состоит из двух параллельно

соединенных сопротивлений  $R_2$  и  $R''$ :  $R_{cd} = \frac{R_2 R''}{R_2 + R''} = \frac{5 \cdot 20}{5 + 20} = 4 \text{ Ом.}$

Рассчитываем

сопротивление  $R_{df}$ . По отношению к зажимам d и f цепь состоит из трех

параллельно соединенных сопротивлений  $R_3$ ,  $R_4$  и  $R_2 + R_3$ , и эквивалентное

сопротивление может быть определено из формулы (0.1.15):  $1/R_{df} = 1/R_3 + 1/R_4 + 1/(R_2 + R_3) = 1/6 + 1/30 + 1/20 = 1/4$ ,

откуда  $R_{df} = 4 \text{ Ом}$ .

## Работа и мощность тока. Закон Джоуля — Ленца

1 Какая энергия (в гектоватт-часах и джоулях) запасена в аккумуляторе с э.д.с.  $\epsilon = 2 \text{ В}$ , имеющем емкость  $Q = 240 \text{ АЧч}$ ?

Решение:

Запасенная энергия

$$W = SI\tau,$$

емкость аккумулятора  $Q = h$ ; отсюда

$$W = SQ = 4,8 \text{ гВт}\cdot\text{ч} = 1,73 \text{ МДж.}$$

2 Какой заряд пройдет по проводнику с сопротивлением  $R = 10 \text{ Ом}$  за время  $t = 20 \text{ с}$ , если к его концам приложено напряжение  $V = 12 \text{ В}$ ? Какая при этом будет произведена работа?

Решение:

Заряд, прошедший по проводнику,

$$q = I\tau = V\tau/R = 24 \text{ Кл.}$$

Произведенная при этом работа

$$A = V^2 \tau/R = 288 \text{ Дж.}$$

3 Насколько изменится температура воды в сосуде, содержащем массу воды  $m = 0,2 \text{ кг}$ , если через проводник, помещенный в него, прошел заряд  $q = 100 \text{ Кл}$ , а к концам проводника приложено напряжение  $V = 20 \text{ В}$ ? Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Решение:

Считая, что энергия, выделяющаяся в проводнике при прохождении тока, полностью идет на нагревание воды, имеем

$$qV = cm(t_2 - t_1),$$

где  $t_1$  и  $t_2$  - начальная и конечная температуры воды; отсюда изменение температуры воды

$$\Delta t = t_2 - t_1 = qV/cm = 2,4 \text{ К.}$$

4 Можно ли вместо двух параллельно включенных электроплиток мощности  $N=500$  Вт каждая включить в сеть электрокамин, который потребляет ток  $I=12,5$  А при напряжении  $V=120$ В, если предохранитель рассчитан на ток, потребляемый плитками?

Решение:

При двух параллельно включенных в сеть плитках ток в общей цепи

$$I_2 = 2N/V = 8,3 \text{ А.}$$

Ток  $I = 12,5$  А, потребляемый камином, больше, чем  $I_1$ ; поэтому нельзя ручаться за то, что предохранитель, выдерживающий ток при включении плиток, не перегорит при включении камина.

Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца

5 Найти площадь сечения проводов, отводящих ток от генератора мощности  $N=1$  ГВт, если ток передается на трансформатор под напряжением  $V=15$ кВ. Плотность тока в проводе не должна превышать  $j=10$  А/мм<sup>2</sup>.

Решение:

Ток в проводах, идущих от генератора,  $I=N/V$ , а плотность тока  $j=I/S$ ; отсюда площадь сечения проводов

$$S = N/jV = 67 \cdot 10^8 \text{ мм}^2.$$

6 Дуговая печь потребляет ток  $I=200$  А от сети с напряжением  $V=120$ В через ограничивающее сопротивление  $R = 0,2$  Ом. Найти мощность, потребляемую печью.

Решение:

$$N = I(V - IR) = 16 \text{ кВт.}$$

7 Нагревательная спираль электроаппарата для испарения воды имеет при температуре  $t=100^\circ\text{C}$  сопротивление  $R=10$  Ом. Какой ток  $I$  надо пропускать через эту спираль, чтобы аппарат испарял массу воды  $m=100$ г за время  $t=1$  мин? Удельная теплота парообразования воды  $l = 2,3$  МДж/кг.

Решение:

Считая, что вся электрическая энергия затрачивается на испарение воды, получим

$$I^2 R t = \lambda m; \text{ отсюда } I = \sqrt{\lambda m / t R} = 19,4 \text{ А.}$$

8 Электропечь должна давать количество теплоты  $Q = 0,1$  МДж за время  $t = 10$  мин. Какова должна быть длина нихромовой проволоки сечения  $S=0,5$  мм<sup>2</sup>, если печь предназначается для сети с напряжением  $V=36$  В? Удельное сопротивление нихрома  $\rho=1,2$ мкОмЧм.

Решение:

По закону Джоуля - Ленца

$Q = V^2 \tau / R$ , где  $R = \rho l / S$  - сопротивление проволоки,  $l$  - ее длина; отсюда

$$l = V^2 S \tau / \rho Q \approx 3,24 \text{ м.}$$

9 Комната теряет в сутки количество теплоты  $Q = 87$  МДж. Какой длины  $l$  надо взять нихромовую проволоку диаметра  $D = 1$  мм для намотки электропечи, поддерживающей температуру комнаты неизменной? Печь включается в сеть с напряжением  $V = 120$  В, удельное сопротивление нихрома  $\rho = 1,2$  мкОм·см.

Решение:

$$l = \pi D^2 V^2 \tau / 4 \rho Q = 10,2 \text{ м.}$$

10 В сосуд, содержащий массу воды  $m = 480$  г, помещен электронагреватель мощности  $N = 40$  Вт. Насколько изменилась температура воды в сосуде, если ток через нагреватель проходил в течение времени  $t = 21$  мин? Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/(кг·К), теплоемкость сосуда вместе с нагревателем  $C_c = 100$  Дж/К.

Решение:

Полученное количество теплоты идет на нагревание воды и сосуда с нагревателем, поэтому

$$N \tau = cm(t_2 - t_1) + C_c(t_2 - t_1),$$

где  $t_1$  и  $t_2$  - начальная и конечная температуры воды. Изменение температуры воды

$$\Delta t = t_2 - t_1 = N \tau / (cm + C_c) = 24 \text{ К.}$$

11 Найти мощность  $N$  электронагревателя кастрюли, если в ней за время  $t = 20$  мин можно вскипятить объем воды  $V = 2$  л. К.п.д. электронагревателя  $\eta = 70\%$ . Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/(кг·К), начальная температура воды  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ .

Решение:

Электрическая энергия, идущая на нагревание воды,

$$W = \eta N \tau = cm(t_2 - t_1),$$

где

$$m = \rho V = 2$$

- масса воды,  $t_2 = 100^\circ \text{C}$  - конечная температура воды; отсюда

$$N = cm(t_2 - t_1) / \eta \tau = 800 \text{ Вт.}$$

12 Сколько времени надо нагревать на электроплитке мощности  $N = 600$  Вт при к.п.д.  $\eta = 75\%$  массу льда  $m_l = 2$  кг, взятого при температуре  $t_1 = -16^\circ \text{C}$ , чтобы обратить его в воду, а воду нагреть до температуры  $t_2 = 100^\circ \text{C}$ ? Удельная теплоемкость льда  $s_l = 2,1$  кДж/(кг·К), удельная теплота плавления льда  $r = 0,33$  МДж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/(кг·К).

Решение:

Время нагревания определяется из уравнения теплового баланса ( $t_0=0^\circ\text{C}$ ):

$$\tau = [c_n m_n (t_0 - t_1) + r m_n + c m_n (t_2 - t_0)] / \eta N = 348 \text{ с.}$$

13 Какова должна быть длина нихромовой проволоки диаметра  $D = 0,3 \text{ мм}$ , чтобы при включении последовательно с 40-ваттной лампочкой, рассчитанной на 127 В, проволока давала нормальный накал при напряжении в сети  $V=220 \text{ В}$ ? Удельное сопротивление нихрома  $\rho = 1,2 \text{ мкОмЧм}$ .

Решение:

$$l = (V - V_0) V_0 \pi D^2 / 4 \rho N = 19,2 \text{ м, где } V_0 = 127 \text{ В.}$$

14 Реостат с полным сопротивлением  $R$  подключен к сети с напряжением  $V$  (рис. 134). Во сколько раз изменится потребляемая от сети мощность, если движок реостата переместить на  $1/4$  длины от его конца?

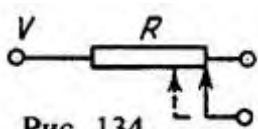


Рис. 134

Решение:

Отношение выделяемых на реостате мощностей  $N_0/N=4/3$ .

15 Найти к.п.д. насосной установки, которая подает в единицу времени объем воды  $Vt = 75 \text{ л/с}$  на высоту  $h = 4,7 \text{ м}$  через трубу, имеющую сечение  $S=0,01 \text{ м}^2$ , если мотор потребляет мощность  $N=10 \text{ кВт}$ .

Решение:

Для подачи воды на высоту  $h$  необходима мощность

$$N_0 = (\Delta U + \Delta T) / \tau = \rho V_\tau g h + \rho V_\tau v^2 / 2.$$

К. п. д. установки

$$\eta = \frac{N_0}{N} = \frac{\rho V_\tau}{N} \left( g h + \frac{V_\tau^2}{2 S^2} \right) = 0,556, \text{ т.е. } \eta = 55,6\%$$

16 Моторы электропоезда при движении со скоростью  $v = 54 \text{ км/ч}$  потребляют мощность  $N=900 \text{ кВт}$ . К.п.д. моторов и передающих механизмов  $\eta = 80\%$ . Найти силу тяги  $F$ , развиваемую моторами.

Решение:

Мощность, необходимая для движения поезда, равна

$$N_0 = F l / t = F v = \eta N;$$

отсюда

$$F = \eta N / v = 48 \text{ кН.}$$

17 Железная и медная проволоки одинаковых длин и сечений соединены последовательно и включены в сеть. Найти отношение количеств теплоты,

выделившихся в каждой проволоке. Удельные сопротивления железа и меди равны  $r_1 = 0,12$  мкОмЧм и  $r_2 = 0,017$  мкОмЧм. Решить эту же задачу для случая параллельного соединения проволок.

Решение:

Токи, идущие через обе проволоки, соединенные последовательно, одинаковы и равны  $I$ . При этом в проволоках за время  $t$  выделяются количества теплоты

$$Q_1 = I^2 R_1 t \text{ и } Q_2 = I^2 R_2 t, \text{ где } R_1 = \rho_1 l / S \text{ и } R_2 = \rho_2 l / S.$$

-сопротивления железной и медной проволок,  $l$  и  $S$ -их длина и площадь сечения. Отношение количеств теплоты при последовательном соединении

$$Q_1 / Q_2 = R_1 / R_2 = \rho_1 / \rho_2 = 7,06.$$

При параллельном соединении токи в железной и медной проволоках

$$I_1 = V / R_1 \text{ и } I_2 = V / R_2,$$

где  $V$ -напряжение в сети. В этом случае за время  $t$  в проволоках выделяются количества теплоты  $Q_1 = V^2 t / R_1$  и  $Q_2 = V^2 t / R_2$ .

Их отношение

$$Q_1 / Q_2 = R_2 / R_1 = \rho_2 / \rho_1 = 0,14.$$

18 Железная и медная проволоки одинаковых длин и сечений включены в сеть на равные промежутки времени сначала последовательно, затем параллельно. Найти отношение количеств теплоты, выделившихся в проволоках в обоих случаях, если по железной проволоке тек один и тот же ток. Удельные сопротивления железа и меди  $r_1 = 0,12$  мкОмЧм и  $r_2 = 0,017$  мкОмЧм.

Решение:

$$Q_1 / Q_2 = R_2 / R_1 = \rho_2 / \rho_1 = 0,14.$$

19 За время  $t_1 = 40$ с в цепи из трех одинаковых проводников, соединенных параллельно и включенных в сеть, выделилось некоторое количество теплоты. За какое время  $t_2$  выделится такое же количество теплоты, если проводники соединить последовательно?

Решение:

$$t_2 = 9t_1 = 6 \text{ мин, так как } Q = 3 V^2 t_1 / R = V^2 t_2 / 3 R.$$

20 Два одинаковых электронагревателя, потребляющих каждый мощность  $N = 200$  Вт при напряжении  $V = 120$  В, длинными и тонкими проводами подключены к источнику тока. Найти сопротивление проводов  $R$ , если при последовательном и при параллельном соединениях нагревателей они выделяют в единицу времени одно и то же количество теплоты.

Решение:

$$R = V^2 / N = 72 \text{ Ом.}$$

## Магнитное поле

1 Индукция однородного магнитного поля  $B=2$  Тл. Найти напряженность магнитного поля.

Решение:

Магнитная индукция

$$B = \mu_0 H;$$

отсюда

$$H = B / \mu_0 = 1,59 \text{ МА/м.}$$

2 Напряженность однородного магнитного поля длинного соленоида  $H = In/l$ . Найти магнитную индукцию в железном сердечнике соленоида, если длина соленоида  $l=50$  см, число витков  $n = 500$ , ток  $I=10$  А. Магнитная проницаемость железа  $m=5000$ .

Решение:

Магнитная индукция

$$B = \mu_0 \mu H = \mu_0 \mu In/l = 62,8 \text{ Тл.}$$

3 Найти магнитную проницаемость железа, если напряженность магнитного поля в железе  $H = 800$  А/м, а магнитная индукция  $B = 5$  Тл.

Решение:

Магнитная проницаемость

$$\mu = B / \mu_0 H = 5000.$$

4 Прямой проводник длины  $l= 1$  см расположен перпендикулярно к линиям индукции в однородном поле. Какая сила действует на проводник, если по нему идет ток  $I= 1$  А, а магнитная индукция  $B=10$  мТл?

Решение:

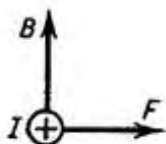


Рис. 370 На прямой проводник с током, расположенный перпендикулярно к линиям индукции в однородном магнитном поле, действует сила  $F=BlI=0,1$  мН. Направление силы определяется правилом левой руки (рис. 370).

5 Прямой проводник длины  $l=0,2$  м и массы  $m = 5$  г подвешен горизонтально на двух невесомых нитях  $oa$  и  $ob$  в однородном магнитном поле. Магнитная индукция  $B = 49$  мТл и перпендикулярна к проводнику (рис. 140).

Какой ток надо пропустить через проводник, чтобы одна из нитей разорвалась, если нить разрывается при нагрузке, равной или превышающей  $Mg = 39,2$  мН?

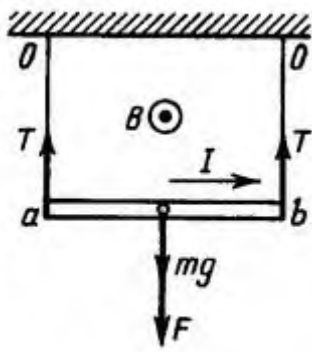


Рис. 140

Решение:

На проводник действуют: две одинаковые силы натяжения нитей  $T$ , сила тяжести  $mg$  и сила

$$F = BIl \sin \alpha$$

со стороны магнитного поля, где  $\alpha$ -угол между направлениями тока  $I$  и магнитной индукции (в нашем случае  $\alpha = 90^\circ$  и  $\sin \alpha = 1$ ). Подразумевается, что направления тока и магнитной индукции таковы, что сила  $F$  направлена вниз (рис. 140). В противном случае силы натяжения нитей при пропускании тока не возрастают, а уменьшаются, и нити не оборвутся.

Если проводник находится в равновесии, то

$$2T - mg - F = 0;$$

отсюда

$$T = (mg + F) / 2.$$

Для разрыва одной из нитей необходимо выполнение условия

$$T = (mg + F) / 2 \geq Mg,$$

или

$$I \geq (2M - m)g / Bl = 3 \text{ A}.$$

Магнитное поле тока. Электромагнитная индукция

6 На прямой проводник длины  $l = 0,5$  м, расположенный перпендикулярно к линиям индукции магнитного поля, действует сила  $F = 0,15$  Н. Найти ток  $I$ , протекающий в проводнике, если магнитная индукция  $B = 20$  мТл.

Решение:

Если проводник расположен перпендикулярно к направлению магнитной индукции, то  $F = BIl$ , где  $I$ -ток в проводнике; отсюда  $I = F/Bl = 15$  А.

7 Между полюсами магнита подвешен горизонтально на двух невесомых нитях прямой проводник длины  $l = 0,2$  м и массы  $m = 10$  г. Индукция однородного магнитного поля  $B = 49$  мТл и перпендикулярна к проводнику. На какой угол  $\alpha$  от вертикали отклонятся нити, поддерживающие проводник, если по нему пропустить ток  $I = 2$  А?

Решение:



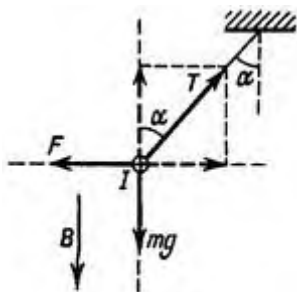


Рис. 371

На проводник действуют: силы натяжения двух нитей  $T$ , сила тяжести  $mg$  и сила  $F=BIl$  со стороны магнитного поля (рис. 371). При равновесии проводника суммы проекций сил (с учетом их знаков) на вертикальное и горизонтальное направления равны нулю:

$$mg - T \cos \alpha = 0, \quad F - T \sin \alpha = 0;$$

отсюда

$$\operatorname{tg} \alpha = F/mg = BI/mg \approx 1, \quad \text{т.е. } \alpha \approx 45^\circ.$$

8 Найти напряженность  $H$  и индукцию  $B$  магнитного поля прямого тока в точке, находящейся на расстоянии  $r=4\text{ м}$  от проводника, если ток  $I=100\text{ А}$ .

Решение:

$$H = I/2\pi r = 4\text{ А/м}, \quad B = \mu_0 H = \mu_0 I/2\pi r = 5\text{ мкТл}.$$

9 ГОСТ 8.417—81 дает такое определение единицы силы тока — ампера: «Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожной малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длины 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}\text{ Н}$ ». Исходя из этого определения, вычислить магнитную постоянную  $\mu_0$ .

Решение:

Вокруг бесконечно длинного прямолинейного проводника, по которому течет ток  $I_1$  образуется магнитное поле, напряженность которого на расстоянии  $r$  от проводника

$$H = I_1/2\pi r,$$

а индукция

$$B = \mu_0 \mu H = \mu_0 \mu I_1/2\pi r.$$

При этом векторы  $H$  и  $B$  направлены одинаково и лежат в плоскости, перпендикулярной к проводнику. На отрезок второго проводника длины  $l$ , по которому течет ток  $I_2$ , магнитное поле действует с силой

$$F = BI_2 l \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол между направлениями отрезка проводника и магнитной индукции. Так как второй проводник параллелен первому, то  $\alpha=90^\circ$  и  $\sin \alpha=1$ . Таким образом,

$$F = \mu_0 \mu I_1 I_2 l / 2\pi r; \quad \text{отсюда } \mu_0 = 2\pi Fr / \mu I_1 I_2 l.$$

Подставив значения

$$I_1=I_2=1\text{A}, l=l_M, F=2\cdot 10^{-7}\text{H}, \mu=1 \text{ (для вакуума)},$$

найдем

$$\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}\text{ Гн/м}.$$

10 Найти силу взаимодействия, приходящуюся на единицу длины проводов воздушной линии электропередачи, если ток в линии  $I=500\text{ A}$ , а расстояние между проводами  $r=50\text{ см}$ .

Решение:

11 Индукция однородного магнитного поля  $B=0,5\text{ Тл}$ . Найти магнитный поток через площадку  $S=25\text{ см}^2$ , расположенную перпендикулярно к линиям индукции. Чему будет равен магнитный поток, если площадку повернуть на угол  $\alpha=60^\circ$  от первоначального положения?

Решение:

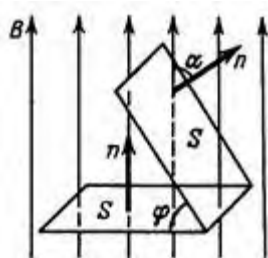


Рис. 372 На рис. 372 показано направление магнитной индукции и положение площадки в обоих случаях. По определению магнитный поток

$$\Phi=BS\cos\alpha,$$

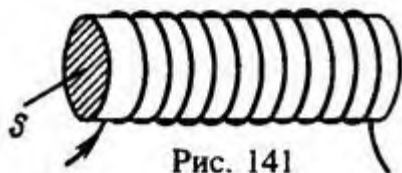
где  $\alpha$ - угол между нормалью  $n$  к площадке и направлением магнитной индукции  $B$ . В первом случае

$$\alpha=0, \cos\alpha=1 \text{ и } \Phi=BS=1,25\text{ мВб};$$

во втором случае  $\alpha=90^\circ$  (углы с взаимно перпендикулярными сторонами) и

$$\Phi=BS\cos\varphi=625\text{ мкВб}.$$

12 Найти магнитную индукцию и магнитный поток через поперечное сечение никелевого сердечника соленоида (рис. 141), если напряженность однородного магнитного поля внутри соленоида  $H=25\text{ кА/м}$ . Площадь поперечного сечения сердечника  $S=20\text{ см}^2$ , магнитная проницаемость никеля  $\mu=200$ .



Решение:

$$B=\mu_0\mu H=6,28\text{ Тл}; \Phi=BS\cos\alpha=BS=12,56\text{ мВб}.$$

13 Магнитный поток через поперечное сечение катушки, имеющей  $n=1000$  витков, изменился на величину  $\Delta\Phi=2\text{ мВб}$  в результате изменения тока в катушке от  $I_1=4\text{ A}$  до  $I_2=20\text{ A}$ . Найти индуктивность  $L$  катушки.

Решение:

$$L = n \Delta \Phi / (I_2 - I_1) = 125 \text{ мГн.}$$

14 Виток площади  $S = 2 \text{ см}^2$  расположен перпендикулярно к линиям индукции однородного магнитного поля. Найти индуцируемую в витке э.д.с, если за время  $\Delta t = 0,05 \text{ с}$  магнитная индукция равномерно убывает от  $B_1 = 0,5 \text{ Тл}$  до  $B_2 = 0,1 \text{ Тл}$ .

Решение:

$$\varepsilon = -(B_2 - B_1) S / \Delta t = 1,6 \text{ мВ.}$$

15 Какой магнитный поток пронизывал каждый виток катушки, имеющей  $n = 1000$  витков, если при равномерном исчезновении магнитного поля в течение времени  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$  в катушке индуцируется э.д.с.  $\varepsilon = 10 \text{ В}$ ?

Решение:

$$\Phi = \varepsilon \Delta t / n = 1 \text{ мВб.}$$

16 Рамка в форме равностороннего треугольника помещена в однородное магнитное поле с напряженностью  $H = 64 \text{ кА/м}$ . Нормаль к плоскости рамки составляет с линиями индукции магнитного поля угол  $\alpha = 30^\circ$ . Найти длину стороны рамки  $a$ , если в рамке при выключении поля в течение времени  $\Delta t = 0,03 \text{ с}$  индуцируется э. д. с.  $\varepsilon = 10 \text{ мВ}$ .

Решение:

Начальный магнитный поток через рамку

$$\Phi_1 = B S \cos \alpha,$$

где  $S = a^2 \sqrt{3} / 4$  —

площадь рамки и  $B = \mu_0 H$  — магнитная индукция. Конечный магнитный поток  $\Phi_2 = 0$ .  
Изменение магнитного потока

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -B S \cos \alpha.$$

Э.д.с. индукции

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\sqrt{3} \mu_0 a^2 H \cos \alpha}{4 \Delta t};$$

отсюда

$$a = 2 \left( \frac{\varepsilon \Delta t}{\sqrt{3} \mu_0 H \cos \alpha} \right)^{1/2} = 10 \text{ см.}$$

17 Квадратная рамка со стороной  $a = 10 \text{ см}$  помещена в однородное магнитное поле. Нормаль к плоскости рамки составляет с линиями индукции магнитного поля угол  $\alpha = 60^\circ$ . Найти магнитную индукцию  $B$  этого поля, если в рамке при выключении поля в течение времени  $\Delta t = 0,01 \text{ с}$  индуцируется э.д.с.  $\varepsilon = 50 \text{ мВ}$ .

Решение:

$$B = \varepsilon \Delta t / a^2 \cos \alpha = 0,1 \text{ Тл.}$$

18 Плоский виток площади  $S = 10 \text{ см}^2$  помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно к линиям индукции. Сопротивление витка  $R = 1 \text{ Ом}$ . Какой ток  $I$  протечет по витку, если магнитная индукция поля будет убывать со скоростью  $dB/Dt = 0,01 \text{ Тл/с}$ ?

Решение:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t} = \frac{S \Delta B}{R \Delta t} = 10 \text{ мкА.}$$

19 Плоский виток площади  $S = 10 \text{ см}^2$  помещен в однородное магнитное поле с напряженностью  $H = 80 \text{ кА/м}$ , перпендикулярное к линиям индукции. Сопротивление витка  $R = 1 \text{ Ом}$ . Какой заряд протечет по витку, если поле будет исчезать с постоянной скоростью?

Решение:

$$q = -\varepsilon \Delta t / R = -\Delta\Phi / R = -\mu_0 H S / R = 0,1 \text{ мкКл.}$$

20 Какова индуктивность катушки с железным сердечником, если за время  $Dt = 0,5$  с ток в цепи изменился от  $I_1 = 10 \text{ А}$  до  $I_2 = 5 \text{ А}$ , а возникшая при этом э.д.с. самоиндукции  $e = 25 \text{ В}$ ?

Решение:

Э.д.с. самоиндукции

$$\varepsilon = -L \Delta I / \Delta t, \text{ где } \Delta I = I_2 - I_1;$$

отсюда

$$L = -\varepsilon \Delta t / (I_2 - I_1) = 2,5 \text{ Гн.}$$

## Электромагнетизм

1. На провод обмотки якоря электродвигателя при прохождении в нем тока  $20 \text{ А}$  действует электромагнитная сила  $1 \text{ Н}$ .

Определить величину магнитной индукции в месте расположения провода в данный момент, если его длина  $20 \text{ см}$ . Решение:

В электродвигателе ось провода и направление вектора магнитной индукции взаимно перпендикулярны. Поэтому электромагнитная сила определяется по формуле

$$F = BIl, \text{ откуда магнитная индукция } B = \frac{F}{Il} = \frac{1}{20 \cdot 0,2} = 0,25 \text{ Тл.}$$

2. Рамка магнитоэлектрического гальванометра имеет обмотку из  $30$  витков и расположена в радиальном магнитном поле, индукция которого составляет  $0,3 \text{ Тл}$ . При токе в обмотке  $0,001 \text{ А}$  рамка повернулась на угол  $90^\circ$ .

Определить удельный противодействующий момент пружины, если высота рамки  $h = 4 \text{ см}$  и ширина  $b = 2 \text{ см}$  (рис 13).

Решение:

Активными являются стороны обмотки, расположенные вдоль образующей цилиндра, перпендикулярно к радиусу цилиндра. На каждый проводник активной

стороны действует сила  $F = B\ell = 0,3 \cdot 0,001 \cdot 0,04 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$ . При числе витков  $\omega = 30$  на всю активную сторону рамки действует сила  $F = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 360 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$ .

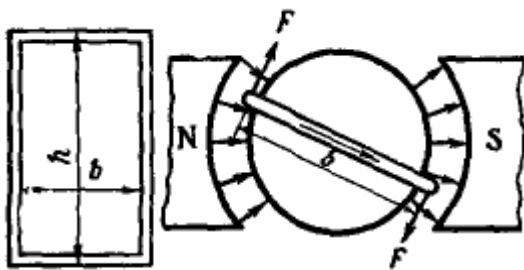


Рис. 13

Направление сил определяется по правилу «левой руки». Силы, действующие на ту и другую стороны рамки, параллельны и направлены в противоположные стороны. Соответствующий вращающий момент

$$M_{\text{сп}} = 2\omega F \frac{b}{2} = 2 \cdot 30 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01 = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При наступлении равновесия после некоторого закручивания противодействующей пружины соблюдается равенство

моментов:  $M_{\text{сп}} = M_{\text{пр}}$ . Вращающий момент становится равным противодействующему моменту пружины, который пропорционален углу поворота:

$$M_{\text{сп}} = D\alpha, \text{ где } \alpha = 90^\circ;$$

$D$  - удельный противодействующий момент, свой от упругих свойств пружины:

$$D = \frac{M_{\text{сп}}}{\alpha} = \frac{7,2 \cdot 10^{-6}}{90^\circ} = 0,08 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{град}^{-1}.$$

Наличие пружины, которая, помимо создания противодействующего момента, служит также для создания цепи тока при повороте рамки, является недостатком магнитоэлектрического измерительного механизма: при перегрузках и коротких замыканиях пружина теряет упругие свойства и даже расплавляется. 3. В воздушном зазоре С-образного сердечника (размеры см. на рис. 14) магнитная индукция составляет 0,6 Тл.

Определить магнитный поток и магнитную индукцию на остальных участках магнитной цепи.

Решение:

Площадь поперечного сечения воздушного зазора

$$S = 120 \cdot 50 \text{ мм}^2 = 60 \text{ см}^2 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Магнитный поток, пронизывающий эту площадь,  $\Phi = B_0 S = 0,6 \cdot 60 \cdot 10^{-4} = 36 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ .

Так как магнитная цепь неразветвленная, то этот же магнитный поток пронизывает поперечные сечения всех участков магнитной цепи. Деля магнитный поток на площадь поперечного сечения каждого участка, определим магнитную индукцию. Результаты сведем в табл. 6.

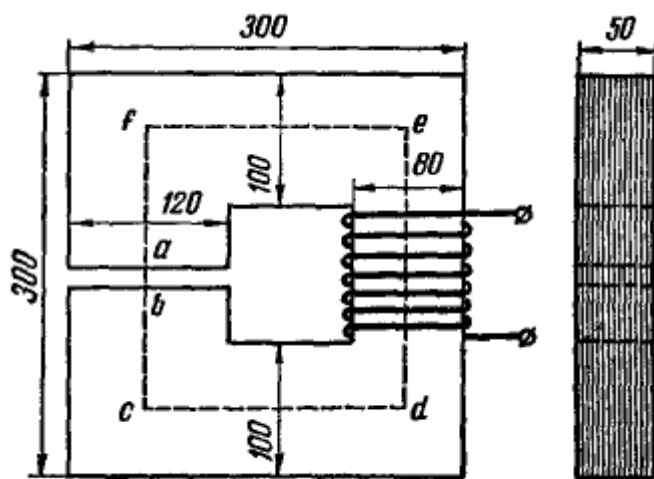


Рис. 14

Таблица 6

Участок магнитной цепи	ab	bc	cd	ed	ef
$S, \text{ м}^2$	$60 \cdot 10^{-4}$	$60 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
$\Phi, \text{ Вб}$	$36 \cdot 10^{-4}$				
$B = \frac{\Phi}{S}, \text{ Тл}$	0,6	0,6	0,72	0,9	0,72

4. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$  расположена прямоугольная рамка из провода, ток в которой  $I = 1 \text{ А}$ . Размеры рамки  $b \times h = 3 \times 5 \text{ см}$ . Магнитный поток в рамке при данном ее положении составляет  $0,75 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ . Какое значение примет магнитный поток, если рамка под действием электромагнитных сил повернется в положение равновесия, и какая будет совершена при этом работа?

Решение:

Определяем наибольший магнитный поток, который будет пронизывать контур при равновесии, когда вектор магнитной индукции станет перпендикулярен к плоскости рамки:  $\Phi_{\text{max}} = BS = 0,1 \cdot 0,3 \cdot 0,05 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ . Приращение магнитного потока  $\Delta\Phi = \Phi_{\text{max}} - \Phi = 1,5 \cdot 10^{-4} - 0,75 \cdot 10^{-4} = 0,75 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ . Работа электромагнитных сил  $A = \Delta\Phi I = 0,75 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 0,75 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$ .

Проекция площади рамки в первом ее положении на направление, перпендикулярное к направлению магнитного поля,  $S \cos \alpha = \frac{\Delta\Phi}{B} = \frac{0,75 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

Следовательно, рамка была расположена под углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению магнитного поля, так как проекция  $S \cos \alpha$  вдвое меньше, чем  $S = b \times h$ .

5. Электрон движется со скоростью  $10 \text{ м/сек}$  в однородном магнитном поле, индукция которого  $2 \text{ тл}$ .

Определить силу, действующую на электрон.

Решение:

Обращаемся к следующей формуле:  $f = Bqv$ . Здесь  $q = 1,59 \cdot 10^{-19} \text{ К}$  — заряд электрона. Подставив числовые значения, получим

$$f = 2 \cdot 10 \cdot 1,59 \cdot 10^{-19} = 3,18 \cdot 10^{-18} \text{ Н.}$$

6. При коротком замыкании токи в шинах электростанции (рис. 15) достигли значений:  $I_A = 5000 \text{ А}$ ,  $I_B = 10000 \text{ А}$ ,  $I_C = 5000 \text{ А}$ . Определить силы действующие на головки опорных изоляторов, поддерживающих шины.

Решение:

Механическое взаимодействие токов, проходящих в параллельных проводах, заключается в том, что при токах противоположного направления проводники отталкиваются, при токах одинакового направления — притягиваются. В данной задаче имеются три взаимодействующих тока, которые рассмотрим попарно. Сила этого взаимодействия выразится формулой

$$F_{AB} = \mu_0 \frac{I_A I_B l}{2\pi a}$$

Здесь расстояние между шинами  $a = 125 \text{ мм}$ ; расстояние между изоляторами одной шипы  $l = 1000 \text{ мм}$ ; магнитная проницаемость воздуха (практически равна магнитной постоянной)  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ .

При отсутствии тока  $I_C$  сила отталкивания проводников с

$$\text{токами } I_A \text{ и } I_B \quad F_{AB} = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 125} = 80 \text{ Н.}$$

Сила  $F_{AC}$  взаимодействия проводников с токами  $I_A$  и  $I_C$  в 4 раза меньше, чем сила отталкивания  $F_{AB}$ , так как  $I_C = I_B/2$  и расстояние между шинами А и С в два раза больше.

$$F_{CA} = \frac{F_{AB}}{4} = 20 \text{ Н.}$$

Следовательно, сила притяжения  $F_{CA}$  Сила отталкивания

проводников с токами  $I_B$  и  $I_C$  равна по величине силе  $F_{AB}$ , так как взаимодействующие токи и расстояния такие же, как в случае шин А и В:

$$F_{BC} = F_{AB} = 80 \text{ Н.}$$

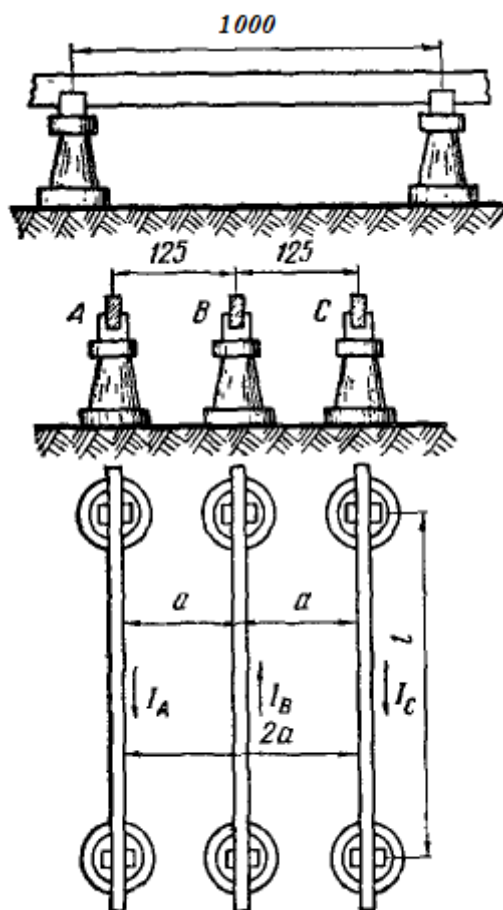


Рис. 15

После рассмотрения взаимодействия токов в проводах, взятых попарно, следует определить результирующие силы  $F_A$ ,  $F_B$  и  $F_C$ , действующие на головки опорных изоляторов.

На изолятор шины А (см. рис. 15) действует вправо сила притяжения  $F_{CA}$  и влево сила отталкивания  $F_{AB}$ . Следовательно, результирующая сила  $F_A = F_{AB} - F_{CA} = 80 - 20 = 60 \text{ Н}$  и направлена влево.

На изолятор шин В действуют также две силы:  $F_{AB}$  — вправо и  $F_{BC}$  — влево. Следовательно,  $F_B = F_{AB} - F_{BC} = 0$ . На изолятор шины С действуют две силы:  $F_{BC}$  — вправо и  $F_{CA}$  — влево. Результирующая сила направлена вправо и равна  $F_C = F_{BC} - F_{CA} = 80 - 20 = 60 \text{ Н}$ .

Такие большие токи короткого замыкания, как в этой задаче, возможны на шинах электростанций большой мощности (в трехфазных установках).

Направление токов в проводах А, В и С непрерывно изменяется: например, провод А является обратным проводом, затем ток в нем становится равным нулю, далее принимается обратное направление и т. д.

Помимо больших механических усилий, при коротком замыкании в проводах развивается много тепла. Например, если шины

медные ( $\rho_m = 0,0188 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ) имеют размеры в поперечном сечении 20 X 4 мм,



то на 1 м длины при токе 10 000 А в 1 сек разовьется тепло:

$$\frac{Q}{t} = rI^2 = \frac{0,0188 \cdot 1}{80} \cdot 10000^2 = 23500 \text{ Дж/сек.}$$

Еще одним результатом короткого замыкания является понижение напряжения в сети, вызванное прохождением больших токов, во много раз превышающих токи нормального режима и вызывающих большую потерю напряжения на всем пути от генератора до места короткого замыкания. Например, на отрезке той же шины длиной 1 м потеря напряжения

$$rI = \frac{0,0188 \cdot 1}{80} \cdot 10000 = 2,35 \text{ В.}$$

7. Определить магнитную проницаемость для электротехнической стали (рис. 16) при напряженности магнитного поля, равной 2000, 4000 и 12 000 А/м. Решение: Магнитная проницаемость  $\mu$  показывает, во сколько раз абсолютная магнитная проницаемость  $\mu_a$  данного сорта стали больше магнитной постоянной:

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  Следовательно,  $\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0} = \frac{B}{H\mu_0}$ . Согласно кривой намагничивания для электротехнической стали

значениям  $H_1 = 2000 \text{ А/м}$ ,  $H_2 = 4000 \text{ А/м}$  и  $H_3 = 12000 \text{ А/м}$  соответствуют следующие значения магнитной индукции:  $B_1 = 1,4 \text{ Тл}$ ,  $B_2 = 1,6 \text{ Тл}$  и  $B_3 = 1,8 \text{ Тл}$ .

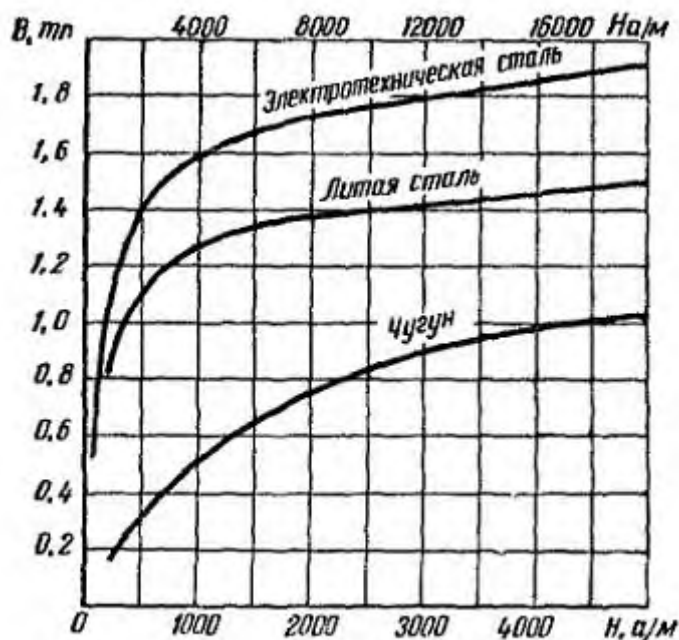


Рис. 16

Таким образом, соответствующими значениями магнитной проницаемости

$$\mu_1 = \frac{B_1}{H_1\mu_0} = \frac{1,4}{2000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 560,$$

$$\mu_2 = \frac{B_2}{H_2\mu_0} = \frac{1,6}{4000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 320,$$

$$\mu_3 = \frac{B_3}{H_3\mu_0} = \frac{1,8}{12000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 120.$$

являются:

Уменьшение магнитной проницаемости стали означает постепенное увеличение магнитного насыщения. Так как магнитная проницаемость стали непостоянна, то, чтобы пользоваться ею для расчета, пришлось бы находить отношения  $B$  и  $H$  в каждой точке кривой намагничивания. Поэтому удобнее в расчетных формулах иметь  $B$  и  $H$ , а не их отношение.

8. На расстоянии 2 см от оси данного прямого провода с током напряженность магнитного поля равна 400 А/м.

Определить значение напряженности на расстоянии 4 см от оси провода, а также ток в проводе. Решение:

Напряженность магнитного поля вокруг длинного прямого провода при

прохождении тока в нем  $H = \frac{1}{2\pi a}$ , где  $H$  — напряженность магнитного поля, А/м;  $I$  — ток, А;

$a$  — расстояние рассматриваемой точки от оси, м.

В первом случае  $H_1 = \frac{1}{2\pi a_1}$ , во втором случае  $H_2 = \frac{1}{2\pi a_2}$ . Отношение

напряженностей  $\frac{H_2}{H_1} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{2}{4} = 0,5$ . Следовательно,  $H_2 = H_1 \cdot 0,5 = 200$  А/м. Из выражения напряженности магнитного поля следует, что ток

$I = H_1 2\pi a_1 = 400 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 50,24$  А. 9. Плотность намотки витков кольцевой катушки равна 10 витков/см.

Определить напряженность магнитного поля при токе 0,5 А, намагничивающую силу в контуре средней магнитной линии радиусом 10 см, а также число витков. Решение:

Напряженность магнитного поля в случае кольцевой катушки определяется по

$$H = I \left( \frac{\omega}{l} \right),$$

т.е.

формуле  $H = 0,5 \cdot 1000 = 500$  А/м. Длина средней магнитной линии  $l = 2\pi a$ , где  $a$  — радиус линии.

Следовательно,  $l = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,628$  м. Намагничивающая сила в контуре средней магнитной линии  $I\omega = Hl = 500 \cdot 0,628 = 314$  А. Число витков обмотки

$$\omega_1 = \left( \frac{\omega}{l} \right) l_1 = 1000 \cdot 0,628 = 628.$$

определяем по заданной плотности намотки катушки:

## Однофазные цепи переменного тока

1. Составить таблицу синхронных скоростей вращения генераторов, если частота сети  $f=50$  Гц. Решение:

Синхронной называют такую постоянную скорость вращения ротора генератора переменного тока, при которой обеспечивается данная частота э. д. с.  $f=50$  Гц.

Вспользуемся формулой  $f = \frac{pn}{60}$ , где  $p$  — число пар полюсов, и заполним табл. 7.

Таблица 7

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

$f, \text{ Гц}$	50					
$p$	1	2	3	4	5	6
$n = \frac{60f}{p}, \text{ об/мин}$	3000	1500	1000	750	600	500

2. Ротор гидрогенератора вращается со скоростью 62,5 об/мин. Частота э. д. с.  $f=50$  Гц.

На какой угол повернется ротор генератора в пространстве в течение периода? Решение:

Угловая скорость вращения ротора  $\omega = \frac{2pn}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 62,5}{60} = 6,54 \text{ рад/сек.}$  Период

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ сек.}$$

$$\text{Искомый угол } \alpha = \omega T = 6,54 \cdot 0,02 = 0,1308 \text{ рад } (7,5^\circ).$$

Установить связь между механической угловой скоростью вращения ротора генератора и электрической угловой скоростью вращения радиуса-вектора, если генератор четырехполюсный и частота э. д. с.  $f=50$  Гц. Решение:

Частота э. д. с.  $f = \frac{pn}{60}$ , где  $p=2$  — число пар полюсов.

Следовательно, синхронная скорость вращения ротора

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин.}$$

Механическая угловая скорость вращения ротора

$$\omega_{\text{мех}} = \frac{2pn}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/сек.}$$

Угловая частота  $\omega$ , или электрическая

угловая скорость вращения радиуса-вектора,  $\omega_{\text{эл}} = 2\pi f = 2\pi \frac{pn}{60} = p \frac{2\pi n}{60} = p \omega_{\text{мех}}$  Итак,

электрическая угловая скорость  $\omega_{\text{эл}}$  в  $p$  раз больше механической угловой скорости  $\omega_{\text{мех}}$ .

$$\text{При } p=2 \quad \omega_{\text{эл}} = 2\omega_{\text{мех}} = 2 \cdot 157 = 314 \text{ рад/сек.}$$

4. В начале наблюдения электрическое напряжение сети имело мгновенное значение, равное действующему значению напряжения 220 В.

Выразить это напряжение аналитически, если частота  $f=50$  Гц. Решение:

В уравнении  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_U)$  в начальный момент

времени  $t=0$ ,  $\omega t=0$  и  $u_{t=0} = 220 \text{ В}$ . Следовательно,  $220 = U_m \sin \psi_U$ . Мгновенное значение напряжения равно его действующему значению в случае изменения напряжения по синусоидальному закону 4 раза за период (при углах  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  и  $315^\circ$ ). Поэтому в данной задаче эти значения углов следует считать начальными

$$\text{фазными углами } \varphi_U, \text{ причем } \sin \varphi_U = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707.$$

Таким образом, искомое уравнение в зависимости от фазного угла запишется

$$u = \frac{220}{0,707} \sin(2\pi \cdot 50t + 45^\circ) = 310 \sin(314t + 45^\circ) \text{ В,}$$

$$u = 310 \sin(314t + 135^\circ) \text{ В,}$$

$$u = 310 \sin(314t + 225^\circ) = 310 \sin(314t - 135^\circ) \text{ В,}$$

соответственно:  $u = 310 \sin(314t + 315^\circ) = 310 \sin(314t - 45^\circ) \text{ В,}$  где число 310 В при синусе означает амплитуду напряжения, а множитель 314 при  $t$  — угловую частоту  $\omega$ . 5. При вращающемся роторе синхронного генератора с двумя полюсами сравнить начальные фазные углы э. д. с, индуцируемых в двух проводниках, если один из них в момент отсчета находится под северным полюсом, а другой отстает в процессе вращения на угол  $60^\circ$  от первого. Решение: Если проводник находится под северным полюсом, то э. д. с, индуцируемая в нем, будет положительной; кроме того, она имеет максимальное значение.

Отсюда начальный фазный угол э. д. с. равен  $90^\circ$  ( $\varphi_{\epsilon 1} = 90^\circ$ ).

При двухполюсном генераторе одному обороту ротора соответствует один цикл изменения э. д. с. в проводнике (т. е.  $360$  эл. град). Следовательно, отставание второго проводника на угол  $60^\circ$  в пространстве означает, что начальная фаза э. д. с, индуцируемой в нем, на  $60^\circ$  меньше, чем у э. д. с. первого проводника.

Тайим образом,  $\varphi_{\epsilon 2} = \varphi_{\epsilon 1} - 60^\circ = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ . Разность начальных фаз двух синусоидальных величин одной и той же частоты называется углом сдвига фаз; в

данном случае  $\varphi = \varphi_{\epsilon 1} - \varphi_{\epsilon 2} = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ . При двухполюсном генераторе угол сдвига фаз двух э. д. с. равен углу смещения на роторе проводников, в которых

индуцируются эти э. д. с.б. Э. д. с.  $E_A, E_B$  и  $E_C$  изображены на векторной диаграмме в виде симметричной трехлучевой звезды, т. е. звезды, имеющей равные длины лучей и равные углы  $120^\circ$  между лучами.

Написать уравнения для этих э. д. с, если вектор э. д. с  $\bar{E}_A$  расположен на горизонтальной оси вправо. Решение:

Начальная фаза вектора э. д. с.  $\bar{E}_A$  равна нулю ( $\varphi_A = 0$ ). Следовательно,

мгновенное значение э. д. с. фазы А  $e_A = E_m \sin \omega t$ . Мгновенное значение э. д. с. фазы В, вектор которой отстает при вращении от вектора э. д. с. фазы А на угол

$120^\circ$ , выразится уравнением  $e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$  Начальная фаза вектора э. д.

с.  $E_B$   $\varphi_B = -120^\circ$ . Вектор э. д. с. фазы С отстает в процессе вращения от вектора э. д. с. фазы В на угол  $120^\circ$  или, иначе, опережает вектор э. д. с. фазы А на угол  $120^\circ$ , поэтому эта э. д. с. характеризуется уравнением

$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$  Начальная фаза вектора э. д.

с.  $\bar{E}_C$   $\varphi_C = -240^\circ = 120^\circ$ . Сдвиг фаз между э. д. с.  $e_A$  и  $e_B$   $\varphi_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 120^\circ$ . Сдвиг

фаз между э. д. с.  $e_B$  и  $e_C$   $\varphi_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = -120^\circ - (-240^\circ) = 120^\circ$ . 7. Синусоидальное напряжение сети равно  $6000$  В.

Определить наибольшее напряжение, которое должны выдерживать изоляции проводов относительно друг друга. Решение:

Изоляция за период дважды подвергается действию напряжения амплитуды, которая при изменении

по синусоидальному закону в  $\sqrt{2}$  раз больше действующего значения напряжения. Номинальное напряжение сети переменного тока соответствует

действующему значению (в данной задаче 6000 В). Поэтому

$U_{\max} = U\sqrt{2} = 6000 \cdot 1,41 = 8460 \text{ В}$ . Необходимость выбора изоляции соответственно амплитудному значению напряжения, в  $\sqrt{2}$  раз большему, чем действующее значение, удорожает установку переменного тока.

8. Определить графически действующее значение синусоидального тока, если его амплитуда  $I_m = 3 \text{ А}$ , а и частота  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Решение:

При частоте  $f = 50 \text{ Гц}$  период  $T = 1/f = 0,02 \text{ сек}$ . По горизонтальной оси отложим отрезок, означающий длительность периода; применим масштаб  $m = 3 \text{ град/мм}$  (рис. 22). По вертикальной оси отложим мгновенные значения синусоидального

тока, амплитуда которого  $I_m = 3 \text{ А}$ , и вторые степени (квадратичные значения) этого тока  $i^2$ ; при этом наибольшее квадратичное значение тока составит  $I_m^2 = 9 \text{ А}^2$ . Вторые степени тока имеют только положительный знак.

Выберем масштаб в зависимости от размера листа бумаги:

например  $m_i = 0,1 \text{ А/мм}$  и  $m_{i^2} = 0,1 \text{ А}^2/\text{мм}$ . Синусоиду можно построить по табл. 8 таблицы тригонометрических величин.

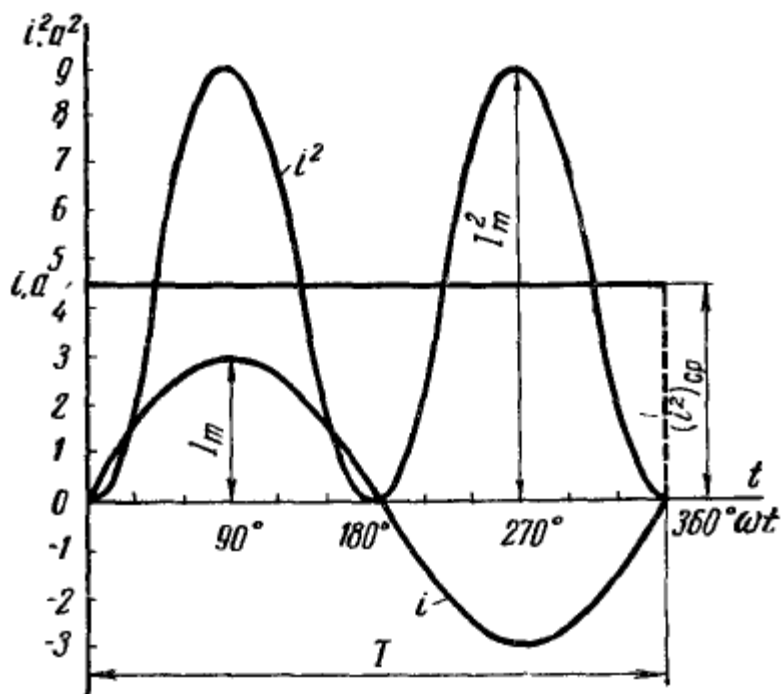


Рис. 22

Таблица 8

$\alpha, ^\circ$	0	30	60	90
$\sin \alpha$	0	0,5	0,866	1
$i, \text{ А}$	0	1,5	2,6	3

Кривая квадратов мгновенных значений тока  $i^2$  построена путем возведения во вторую степень значений 0,5; 1; 2; 3 А, дающих соответственно 0,25; 1; 4; 9  $A^2$ . Кривая квадратов тока расположилась над осью времени, так как независимо от направления тока тепло развивается в проводе, будучи пропорциональным квадрату тока (закон Ленца — Джоуля).

Нагреватель термоэлектрического прибора принимает установившуюся температуру соответственно среднему арифметическому из всех значений  $i^2$ , причем, как это видно из симметрии кривой, средний квадрат равен половине

$$(i^2)_{cp} = \frac{I_m^2}{2} = \frac{9}{2} = 4,5 A^2.$$

максимального квадрата: Проведя горизонтальную прямую через значение тока  $4,5 A^2$ , получим прямоугольник с основанием, равным периоду  $T$ , и высотой, равной среднему квадрату тока.

Площадь прямоугольника  $i_{cp}^2 T$  пропорциональна теплу, развившемуся в проводе при прохождении тока в течение периода  $T$ , причем ток предполагается

постоянным и равным  $i = \sqrt{4,5 A^2} = 2,12 A$ . По площади этот прямоугольник равен другой площади, которая находится внутри квадратической кривой  $i^2 = f(t)$  над горизонтальной осью. Следовательно, при постоянном токе  $I = 2,12 A$  развивается столько же тепла, сколько при синусоидальном токе амплитудой 3 А и частотой 50 Гц.

Значение постоянного тока, при котором в проводнике развивается столько же тепла за время  $T$  (период переменного тока), сколько за это же время в том же проводнике развивается тепла при переменном токе, называется действующим значением переменного тока.

Итак, действующее значение переменного синусоидального тока с амплитудой 3 А равно 2,12 А. Этот же результат можно получить путем вычисления: при синусоидальном токе его действующее значение в  $\sqrt{2}$  раз меньше амплитудного:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{3}{1,41} = 2,12 A.$$

Графическое построение для отыскания эквивалентного постоянного тока, рассмотренное в данной задаче, приходится выполнять в случае выбора мощности электродвигателя при продолжительной работе с переменной нагрузкой. 9. Мощность электрической лампы, включенной на переменное напряжение с действующим значением 120 В, равна 60 Вт.

Определить ток лампы, сопротивление нити и энергию, расходуемую за 2 ч работы. Решение:

Электрическая лампа рассматривается как элемент цепи, обладающий только активным сопротивлением. Включение лампы вызывает в ее цепи ток, совпадающий по фазе с напряжением. Сдвиг фаз отсутствует ( $\varphi = 0$ ).

Коэффициент мощности  $\cos \varphi = 1$ . Поэтому ток лампы

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{60}{120 \cdot 1} = 0,5 A$$

Электрическое сопротивление нити лампы

$$r = \frac{U}{I} = \frac{120}{0,5} = 240 \text{ Ом.}$$

За два часа работы лампы будет израсходована энергия  $A = Pt = 60 \cdot 2 = 120 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ . 10. Определить активное сопротивление катушки, если число витков  $\omega = 2340$ , средняя длина витка  $l = 0,2 \text{ м}$  и материал — медная

провода диаметром 2 мм. Катушка предназначена для цепи переменного тока частотой  $f=60$  Гц. Решение:

Для сравнительно небольших частот, к которым относится частота 50 Гц, активное сопротивление катушки при переменном токе практически не отличается от ее сопротивления при постоянном токе: последнее определяют исходя из геометрических размеров и материала провода (учитывая удельное сопротивление при температуре окружающей среды  $20^\circ \text{C}$ ). Таким образом,

$$r = r_B \omega = \rho \frac{l_B}{S} \omega = 0,0188 \frac{0,2}{3,14 \cdot 2^2} 2340 = 2,8 \text{ Ом.}$$

11. Определить емкостное сопротивление конденсатора при частоте  $f=50$  Гц, если его емкость  $C = 1$  мкФ. Решение:

Емкостным сопротивлением называется величина  $x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ , где  $C$  — емкость, Ф;  $f$  — частота, Гц.

По условию задачи,  $C = 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ . Следовательно,

$$x_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{314} = 3185 \text{ Ом.}$$

Увеличение частоты в два раза уменьшает емкостное сопротивление во столько же раз. При постоянном токе можно принять частоту  $f=0$  и период  $T = \infty$ . Следовательно, при этих условиях емкостное сопротивление бесконечно велико. Физически это означает невозможность постоянного тока в цепи конденсатора, так как последний, зарядившись, приобретает напряжение заряжающего источника, и всякое перемещение зарядов в цепи прекращается, если диэлектрик идеальный. При увеличении емкости в 10 раз ( $C = 10 \text{ мкФ}$ ) емкостное сопротивление уменьшается во столько же раз ( $x_C = 318 \text{ Ом}$ ). Поэтому полезно запомнить числовое значение емкостного сопротивления 3185 Ом при частоте 50 Гц конденсатора емкостью 1 мкФ для пропорционального пересчета величины сопротивления при других значениях частоты и емкости.

## Трехфазные цепи

1. Линейное напряжение трехфазного генератора, соединенного звездой, равно 10500 В.

Определить напряжение между жазимами каждой фазы генератора. Какое напряжение было бы между жазимами генератора при соединении его обмоток треугольником?

Решение:

Фазное напряжение трехфазного генератора при схеме соединения звездой в  $\sqrt{3}$  раз меньше линейного напряжения:

$$U_\phi = \frac{U_\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{10500}{1,73} = 6060 \text{ В.}$$

В схеме соединения треугольником провода линии присоединяются к общим жазимам двух обмоток, и линейное напряжение между двумя проводами равно напряжению фазной обмотки:  $\Delta U_\Delta = U_\phi = 6060 \text{ В}$ .

2. Действующее значение э. д. с. в каждой обмотке симметричного трехфазного генератора равно 230 В.

Определить линейные напряжения при соединении обмоток неправильной звездой («веером») в режиме холостого хода. Решение:

Неправильное присоединение одной из обмоток генератора к двум остальным при соединении звездой приводит к повороту вектора э. д. с. на  $180^\circ$  (рис. 35) по сравнению с нормальным расположением. Вместо симметричной трехлучевой звезды векторов получается так называемый веер векторов с углами по  $60^\circ$  между ними. Как видно из векторной диаграммы, напряжение

$$U_{AB} = E_A \sqrt{3} = 230 \cdot 1,73 = 440 \text{ В},$$

$$U_{CA} = U_{BC} = E_A = 230 \text{ В}.$$

Следовательно, неправильное соединение обмоток звездой можно обнаружить путем измерения. При правильном соединении все линейные напряжения равны  $\sqrt{3}E$ .

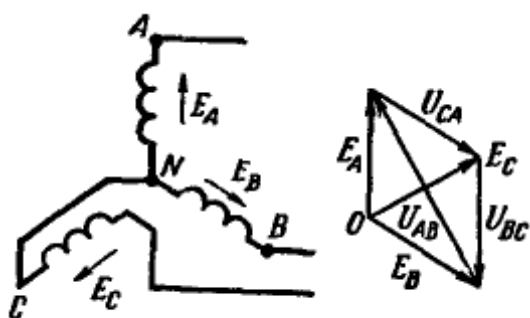


Рис. 35

3. В каждой обмотке трехфазного генератора индуцируется э. д. с, равная 132 В. Определить линейное напряжение генератора при холостом ходе в случае соединения обмоток треугольником. Решение:

При правильном соединении обмоток трехфазного генератора треугольником результирующая э. д. с. в контуре обмоток равна нулю, так как сумма э. д. с. симметричной трехфазной системы равна нулю. Следовательно, при холостом ходе в контуре треугольника обмоток ток отсутствует и напряжение между концом и началом обмотки равно э. д. с. Это так называемое фазное напряжение. В схеме соединения генератора треугольником провода трехфазной линии присоединяют к точкам соединения обмоток. Каждый провод при этом присоединен к зажимам двух обмоток, а каждая пара проводов линии — к зажимам одной из трех обмоток. Поэтому линейное напряжение генератора, т. е. напряжение между двумя линейными проводами, оказывается равным при схеме соединения треугольником фазному напряжению, а при холостом ходе генератора — фазной э. д. с. генератора (132 В).

4. Фазная э. д. с. трехфазного генератора  $E = 247 \text{ В}$ , частота сети  $f = 50 \text{ Гц}$ , активное сопротивление обмотки  $r = 1,1 \text{ Ом}$ ,

индуктивное сопротивление  $x_L = 6 \text{ Ом}$ .

Определить величину тока в контуре треугольника при неправильном соединении обмоток генератора в режиме холостого хода. Решение:

Переключение начала и конца обмотки трехфазного генератора поворачивает вектор э. д. с. этой обмотки на диаграмме на  $180^\circ$ . Дело в том, что после переключения положительное направление э. д. с. этой обмотки будет относительно зажимов остальных обмоток таким, каким было отрицательное направление э. д. с. в первоначальной схеме. Таким образом, при неправильном соединении, например, фазы В по отношению к остальным фазам получим векторную диаграмму, показанную на рис. 36.



Результирующая э. д. с. в контуре равна удвоенному значению фазной э. д. с, т. е. 494 В. Эта э. д. с. обуславливает ток в контуре, величина которого определяется

$$I = \frac{2E}{3z},$$

по закону Ома: где  $z$  — полное сопротивление фазной обмотки:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{1,1^2 + 6^2} = 6,1 \text{ Ом.} \quad \text{Следовательно,} \quad I = \frac{2E}{3z} = \frac{2 \cdot 247}{3 \cdot 6,1} = 27 \text{ А}$$

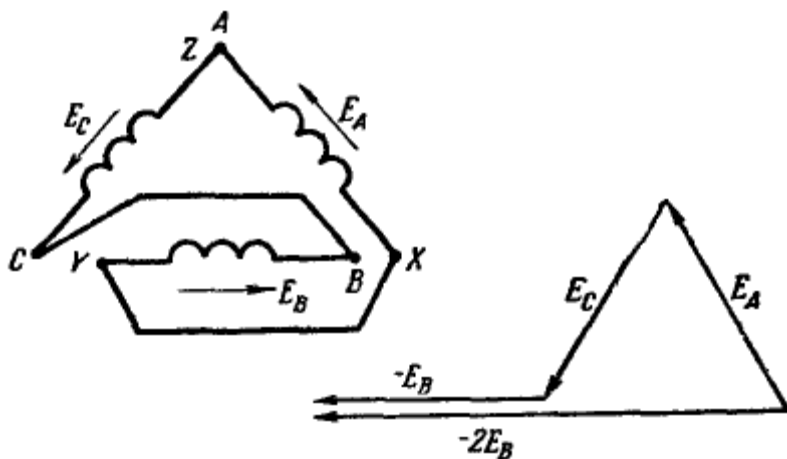


Рис. 36

Если оставить включенной схему неправильного соединения обмоток треугольником, то даже при холостом ходе генератора в контуре обмоток будет непроизводительно расходоваться энергия, переходящая в тепло. В рассматриваемой задаче потери мощности в контуре

$\Delta P = 3rI^2 = 3 \cdot 1,1 \cdot 27^2 = 2406 \text{ Вт.}$  Поэтому, прежде чем замыкать контур треугольника обмоток, следует проверить равнопотенциальность соединяемых точек при помощи вольтметра (рис. 37). При правильном соединении обмоток треугольником подвижная часть вольтметра не отклоняется.

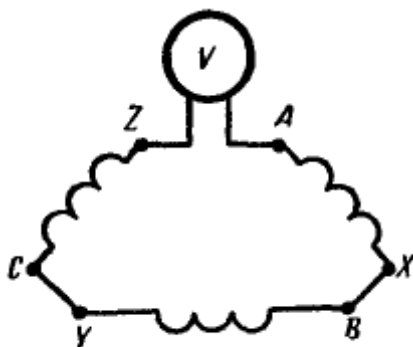


Рис. 37

5. К четырехпроводной трехфазной линии поочередно присоединяют три электрические лампы мощностью по 60 Вт каждая между линейным (соответственно А, В и С) и нейтральным проводами. Определить изменение токов в проводах линии в каждом случае присоединения к ней лампы, если напряжение между каждым линейным проводом и нейтральным проводом 120 В. Решение:

Пусть до присоединения к четырехпроводной трехфазной линии ламп в ее проводах не было токов. Тогда присоединение электрической лампы между линейным А и нейтральным N проводами вызовет ток в этих проводах, равный

$$I_A = \frac{P_A}{U_A \cos \varphi_A} = \frac{60}{120 \cdot 1} = 0,5 \text{ A.}$$

Благодаря нейтральному проводу поддерживаются равными три фазных напряжения:  $U_A = U_B = U_C = 120 \text{ В}$  и на векторной диаграмме узловой точке  $n$  цепи (рис. 38) соответствует точка того же наименования, расположенная в центре тяжести треугольника векторов линейных напряжений (рис. 39).

Электрическая лампа является однофазным приемником энергии, не вызывающим сдвига фаз тока относительно напряжения ( $\cos \varphi_A = 1$ ).

Следовательно, вектор тока  $I_A$  совпадает по фазе с вектором напряжения  $U_A$ . Согласно первому закону Кирхгофа, примененному к точке  $n$  цепи (рис. 39), ток в нейтральном проводе  $I_N = I_A$  изображается тем же вектором, что и ток в проводе А. Из этого рисунка видно, что при отсутствии нейтрального провода лампу нельзя было бы включить на фазное напряжение  $U_A$ .

Представим себе, что в дополнение к уже включенной лампе (см. рис. 38) присоединена вторая такая же лампа между линейным В и нейтральным N проводами (рис. 40).

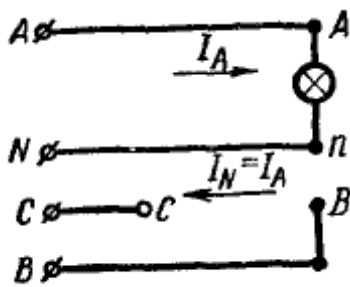


Рис. 38

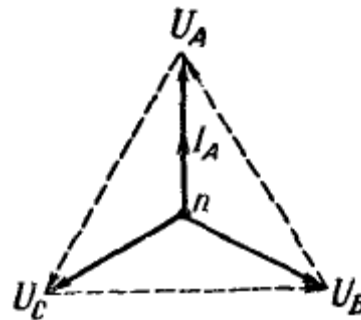


Рис. 39

Ток в проводе А при этом не изменился, но появился ток в проводе В. В нейтральном проводе N стал проходить ток  $I_N$ , равный геометрической сумме токов  $I_A$  и  $I_B$ .

$$I_B = \frac{P_B}{U_B \cos \varphi_B} = \frac{60}{120 \cdot 1} = 0,5 \text{ A.}$$

Ток в линейном проводе В  $I_B$  совпадает по фазе с напряжением  $U_B$  и тем самым отстает по фазе от тока  $I_A$  на  $1/3$  периода ( $120^\circ$ ) (см. рис. 40).

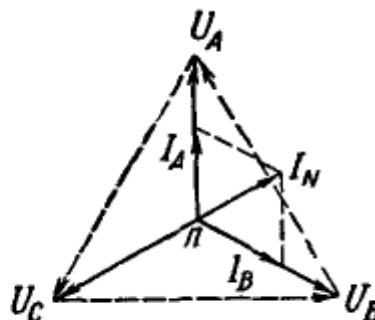
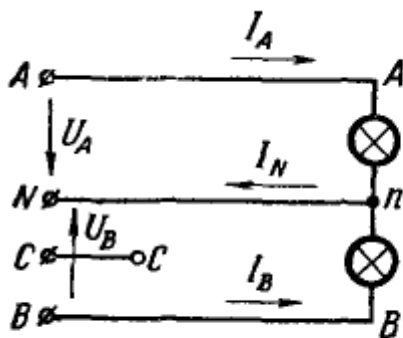


Рис. 40

Так как  $I_A = I_B$ , то при определении тока в нейтральном проводе путем сложения векторов этих линейных токов получим ромб с углом в  $120^\circ$ . Диагональ ромба ( $I_N$ ) делит этот угол пополам, поэтому длина диагонали ромба равна его стороне, т. е.  $I_A = I_B = I_N = 0,5 A$ . Таким образом, величина тока в нейтральном проводе осталась той же, что и при одной лампе в проводе А, только вектор этого тока на диаграмме повернулся на  $60^\circ$  по ходу часовой стрелки. Наконец, допустим, что присоединена третья лампа (в дополнение к прежним двум) между линейным С и нейтральным N проводами (рис. 41). В этом случае ток

$$I_C = \frac{P_C}{U_C \cos \varphi_C} = \frac{60}{120 \cdot 1} = 0,5 A.$$

стал проходить в проводе С, причем ввиду отсутствия сдвига фаз этого тока относительно напряжения  $U_C$  вектор тока  $I_C$  на диаграмме начал совпадать по фазе с вектором напряжения  $U_C$ . Получилась симметричная трехлучевая звезда векторов токов. Геометрическое сложение этих векторов дает нуль:  $\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$ . Следовательно, при симметричном режиме нагрузки ток в нейтральном проводе равен нулю. Таким образом, отсутствие тока в нейтральном проводе при однородной (например, активной) нагрузке свидетельствует о симметрии режима в трехфазной цепи.

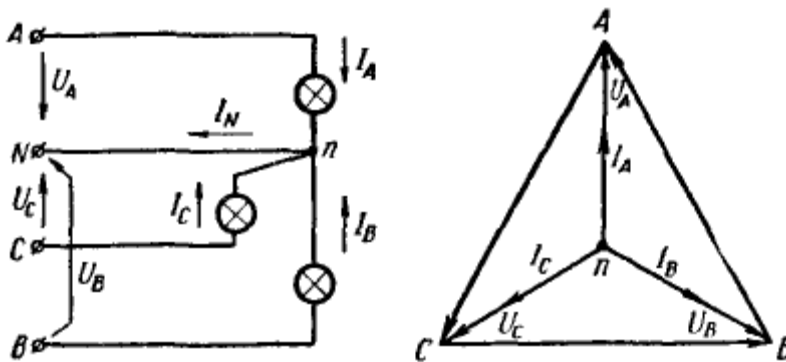


Рис. 41

6. Трехфазный асинхронный электродвигатель типа МАД-126/8 в схеме соединения обмоток статора звездой при номинальной нагрузке и номинальном напряжении 500 В имеет токи в обмотках статора по 220 А и развивает номинальную мощность на валу 130 кВт.

Определить  $\cos \varphi$  и мощность на входе, если к. п. д. при номинальной нагрузке  $\eta = 88\%$ . Построить в масштабе векторную диаграмму.

Решение:

$$\eta = \frac{P_{ном}}{P_1}$$

К. п. д.  $\eta$ , откуда

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta} = \frac{130}{0,88} = 147,7 \text{ кВт.}$$

Трехфазный электродвигатель — это симметричный приемник энергии, поэтому

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI} = \frac{147700}{1,73 \cdot 500 \cdot 220} = 0,775.$$

коэффициент мощности

Этому значению

коэффициента мощности соответствует угол  $\varphi = 39^{\circ}10'$ .

Строим векторную диаграмму в масштабе:  $m_I = 10 \text{ A/мм}$ ,  $m_U = 5 \text{ В/мм}$  (рис. 42). Так как трехфазный электродвигатель представляет собой симметричный приемник энергии, то геометрическая сумма его токов равна нулю и нейтральный провод становится Лишним. Поэтому при любой схеме соединения обмоток трехфазного двигателя к нему подводят только три провода.

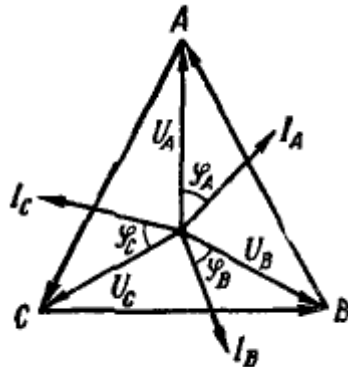


Рис. 42

7. Три одинаковые катушки ( $r = 7 \text{ Ом}$ ,  $x_L = 24 \text{ Ом}$ ) включены звездой и присоединены к трехпроводной трехфазной цепи с линейным напряжением 220 В. Начало и конец одной из катушек (фаза А) замкнуты накоротко медной пластиной. Определить токи при коротком замыкании в фазе А. Построить в масштабе векторную диаграмму. Решение:

Замыкание накоротко точек А и п (рис. 43) делает потенциал точки п равным потенциалу точки А.

Катушки фаз В и С оказываются включенными на линейное напряжение. Токи в

$$I_B = I_C = \frac{U_{\pi}}{z} = \frac{U_{\pi}}{\sqrt{r^2 + x_L^2}} = \frac{220}{\sqrt{7^2 + 24^2}} = 8,8 \text{ А.}$$

них равны по величине:

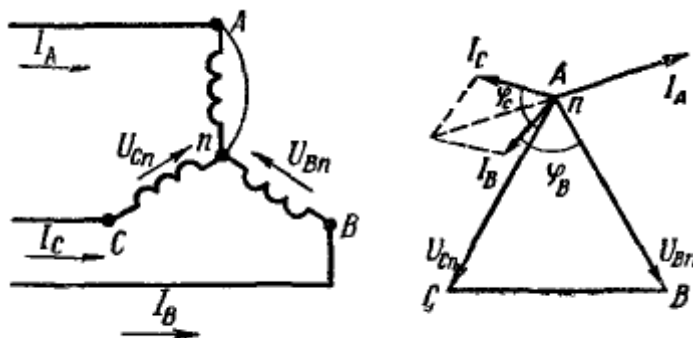


Рис. 43

Они отстают по фазе соответственно от напряжений  $U_{B*}$  и  $U_{C*}$  на угол, тангенс

которого  $\text{tg} \varphi_B = \text{tg} \varphi_C = \frac{x_L}{r} = \frac{24}{7} = 3,428$ .

Из таблиц тригонометрических величин  $\varphi = 73^{\circ}55'$ . Ток  $I_A$  в замкнутой накоротко фазе А ( $z_A = 0$ ) определяют в

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0,$$

откуда

этом случае по первому закону Кирхгофа:  $\bar{I}_A = -(\bar{I}_B + \bar{I}_C)$ . Следовательно, вектор тока  $\bar{I}_A$  противоположен по направлению вектору, представляющему собой сумму векторов  $\bar{I}_B$  и  $\bar{I}_C$ . Строим векторную диаграмму

масштаба:  $m_I = 10 \text{ A/мм}, m_U = 5 \text{ В/мм}$ .

Непосредственное измерение дает для величины тока замкнутой накоротко фазы А значение  $I_A = 15 \text{ A}$ .

При нормальных условиях токи во всех линейных проводах были бы равны:

$$I_A = I_B = I_C = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}z} = \frac{220}{1,73 \cdot 25} = 5,09 \text{ A}.$$

Поэтому в замкнутой накоротко фазе схемы «симметричная звезда» ток больше, чем при нормальной работе, в 3 раза, при этом в двух других фазах ток увеличивается в  $\sqrt{3}$  раз.

Ток  $I_A$  замыкается через пластину, замкнувшую зажимы катушки. В этой катушке не может быть пробоя междувитковой изоляции, так как напряжение между зажимами катушки равно нулю. Опаснее для изоляции катушки внезапное прекращение тока, так как при этом в катушке индуцируется очень большая э. д. с. самоиндукции.

8. К трехпроводной трехфазной линии напряжением 122 В и частотой 50 Гц присоединены включенные звездой катушки ( $r = 1,1 \text{ Ом}, x_L = 6 \text{ Ом}$ ). В проводе С линии расплавилась плавкая вставка предохранителя (рис. 44). Определить токи. Построить в масштабе векторную диаграмму.

Решение:

Вследствие расплавления плавкой вставки предохранителя ток в линейном проводе С прекратился. Потенциалы точек  $C_1$  и  $n$  стали равными.

В схеме под действием линейного напряжения  $U_{AB}$  продолжается прохождение тока в катушках фаз А и В, включенных теперь последовательно.

Так как катушки одинаковы, то напряжение  $U_{AB}$  делится между ними поровну. Это означает, что точка  $n$  диаграммы находится посередине вектора линейного напряжения  $U_{AB}$ . Отрезок  $Аn$  означает напряжение  $U_{A_n}$ , а отрезок  $Вn$  — напряжение  $U_{B_n}$ .

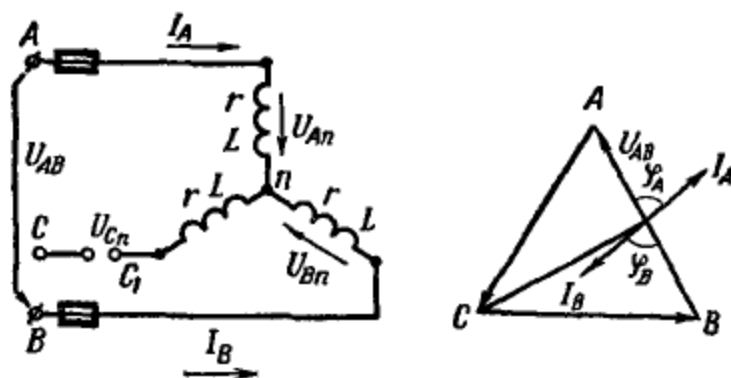


Рис. 44

Симметричная трехлучевая звезда векторов фазных напряжений, которая характеризовала симметричный режим при всех исправных предохранителях, искажается ввиду смещения точки  $n$  из центра тяжести треугольника линейных напряжений на середину стороны  $AB$  (см. рис. 44). Токи  $I_A$  и  $I_B$  равны по величине:

$$I_A = I_B = \frac{U_{AB}}{2z} = \frac{U_{AB}}{2\sqrt{r^2 + x_L^2}} = \frac{122}{2\sqrt{1,1^2 + 6^2}} = 10 \text{ A}$$

Они отстают по фазе соответственно от

напряжений  $U_A$  и  $U_B$  на угол, тангенс которого  $\operatorname{tg}\varphi = \frac{x_L}{r} = \frac{6}{1,1} = 5,454$ . Из таблиц тригонометрических величин  $\varphi = 79^{\circ}35'$ .

Строим векторную диаграмму в масштабе:  $m_I = 0,5 \text{ A/мм}$ ,  $m_U = 2 \text{ B/мм}$ . Так как потенциал точки  $C_1$  равен потенциалу точки  $n$  (в фазе  $C$  тока нет), то разность потенциалов между точками  $C$  и  $n$  такая же, как и между точками  $C$  и  $C_1$  т.е. как между концами провода. Из векторной диаграммы следует, что это напряжение в 1,5 раза превышает номинальное фазное напряжение установки:

$$U_{C_n} = U_{CC_1} = 1,5 \cdot \frac{122}{\sqrt{3}} = 61\sqrt{3} = 105,6 \text{ B.}$$

Если бы электромонтер стал сращивать концы провода (без отключения установки), он подвергся бы действию указанного напряжения. 9. Три активных сопротивления:  $r_A = 10 \text{ Ом}$ ,  $r_B = 20 \text{ Ом}$  и  $r_C = 30 \text{ Ом}$  — соединены звездой и присоединены к трехпроводной трехфазной линии с линейными напряжениями 120 В.

Определить напряжения на отдельных сопротивлениях и токи в них. Решение:

Нагрузка фаз по условию задачи однородная (активная):  $\cos\varphi_A = \cos\varphi_B = \cos\varphi_C = 1$ .

Однако симметричный режим в цепи невозможен, так как  $r_A \neq r_B \neq r_C$ . В случае отсутствия нейтрального провода также невозможно обеспечить равенство напряжений на отдельных фазах при такой нагрузке.

Изменение фазных напряжений при изменении нагрузки в одной фазе можно связать со смещением точки  $n$  на векторной диаграмме. При симметричном режиме в цепи точка  $n$  находится в центре тяжести треугольника линейных напряжений.

Допустим, что в линейном проводе  $C$  произошел разрыв, прекративший ток в этой фазе ( $I_C = 0$ ). В других фазах проходит ток при действии линейного напряжения  $U_{AB}$  в неразветвленной цепи, состоящей из сопротивлений  $r_A$  и  $r_B$  (рис. 45). Этот ток определяется по закону Ома:

$$I_{AнB} = \frac{U_{AB}}{r_A + r_B} = \frac{120}{10 + 20} = 4 \text{ A.}$$

При этом напряжение на сопротивлении  $r_A$

$$U_{An} = r_A I_{AнB} = 10 \cdot 4 = 40 \text{ B,}$$

а напряжение на сопротивлении  $r_B$

$$U_{Bn} = r_B I_{AnB} = 20 \cdot 4 = 80 \text{ В.}$$

Оба эти напряжения совпадают по фазе с током  $I_{AnB}$  и, следовательно, с напряжением  $U_{AB}$  (так как  $\cos \varphi = 1$ ).

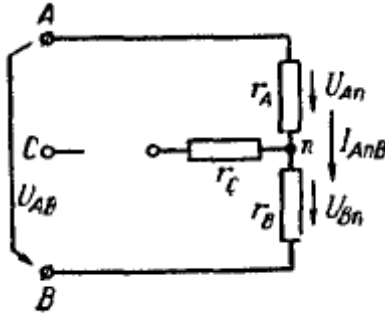


Рис. 45

Напряжения  $U_{An}$  и  $U_{Bn}$  являются частями напряжения  $U_{AB}$ , причем

$$\frac{U_{An}}{U_{Bn}} = \frac{r_A}{r_B} = \frac{10}{20} = \frac{1}{2} \text{ и } U_{An} + U_{Bn} = U_{AB}.$$

Точка  $n$ , обозначенная в виде  $n_C$ , в случае обрыва фазы С находится на стороне АВ треугольника векторов линейных напряжений и делит ее в отношении 1:2 (рис. 48). Этот треугольник построен в масштабе  $m_U = 2 \text{ В / мм}$ . Точку  $n_C$ , нанесенную на стороне АВ, соединяем отрезком прямой с вершиной С, в которой располагается точка  $n$  при коротком замыкании фазы С ( $r_C = 0$ ), когда потенциалы точек  $n$  и С равны.

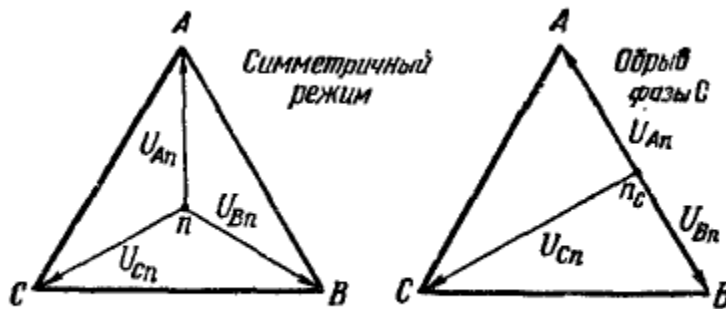


Рис. 46

Допустим, что разрыв произошел в линейном проводе В (рис. 47). В этом случае ток  $I_B = 0$ , а в фазах С и А проходит один и тот же ток, равный, по закону Ома,

$$I_{CnA} = \frac{U_{CA}}{r_C + r_A}.$$

Напряжения на участках неразветвленной цепи  $U_{Cn}$  и  $U_{An}$  относятся,

$$\frac{U_{Cn}}{U_{An}} = \frac{r_C}{r_A} = \frac{30}{10} = 3$$

как сопротивления этих участков: ; кроме того, соблюдается

равенство  $U_{Cn} + U_{An} = U_{CA}$ . Следовательно, сторону СА следует разбить на части,

относящиеся друг к другу как 3:1 (точка  $n_B$  на рис. 48).

Соединяем отрезком прямой точку  $n_B$  с точкой В, в которой располагается точка  $n$  при коротком замыкании фазы В. Прямые, проведенные внутри треугольника

ABC, пересекаются в точке  $n$ ; она соответствует узловой точке  $n$  электрической схемы для случая всех трех исправных проводов, так как точка пересечения этих прямых удовлетворяет обоим условиям, положенным в основу проведения прямых, т. е.

$$1) r_C : r_A = 3 : 1,$$

$$2) r_A : r_B = 1 : 2.$$

Именно в таком соотношении находятся сопротивления фаз по условию задачи. Теперь рассмотрим отрезки прямых, соединяющих точку  $n$  с точками  $A$ ,  $B$  и  $C$ . На векторной диаграмме эти точки соответствуют потенциалам одноименных точек схемы, а отрезки прямых — напряжениям схемы. Отрезок  $An$  означает

напряжение  $U_{An}$ , отрезок  $Bn$  — соответственно напряжение  $U_{Bn}$ , отрезок  $Cn$  —

напряжение  $U_{Cn}$  (в масштабе, принятом в начале построения  $m_U = 2 \text{ В/мм}$ ).

Путем измерения этих отрезков и применения масштаба устанавливаем, что  $U_{An} = 48 \text{ В}$ ,  $U_{Bn} = 80 \text{ В}$ ,  $U_{Cn} = 94 \text{ В}$ .

Далее, зная сопротивления  $r_A$ ,  $r_B$  и  $r_C$ , определяем по закону Ома токи:

$$I_A = \frac{U_{An}}{r_A} = \frac{48}{10} = 4,8 \text{ А},$$

$$I_B = \frac{U_{Bn}}{r_B} = \frac{80}{20} = 4 \text{ А},$$

$$I_C = \frac{U_{Cn}}{r_C} = \frac{94}{30} = 3,13 \text{ А}.$$

Эти токи совпадают по фазе соответственно с напряжениями  $U_{An}$ ,  $U_{Bn}$  и  $U_{Cn}$ , так как нагрузка активная.

Построим векторы токов в масштабе  $m_I = 0,1 \text{ А/мм}$ , направляя векторы токов вдоль векторов соответствующих напряжений. Сумма построенных векторов

токов должна равняться нулю:  $\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0$ . Несмотря на то что меньшее напряжение оказалось в фазе с меньшим сопротивлением (фаза  $A$ ), ток в ней по сравнению с токами других фаз наибольший.

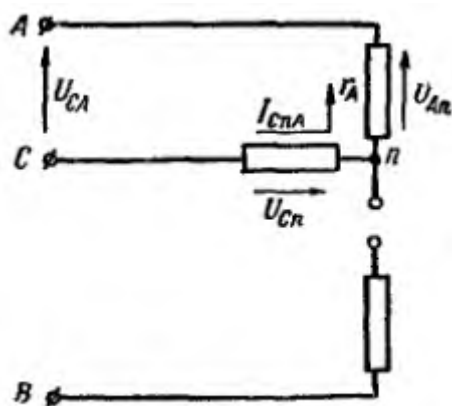


Рис. 47

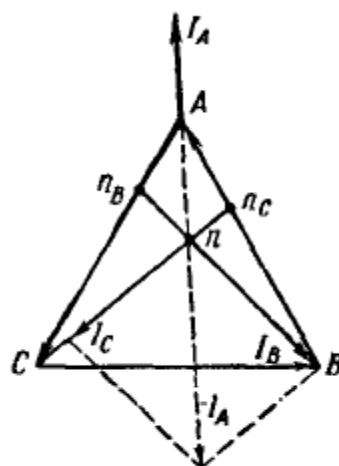


Рис. 48



## Электромагнитные колебания и волны

1. К антенне длиной  $l=2$  м подводится синусоидальный ток с амплитудой  $I_0=5$  А и частотой  $\nu=10^5$  Гц. Показать, что такую систему можно рассматривать как электрический диполь, и вычислить напряженность электрического поля в воздухе на расстоянии  $r=50$  км (в волновой зоне) под углом  $\theta=\pi/2$  к оси диполя. Решение. Длина волны  $\lambda=c/\nu=300$  м. Так как  $l \ll \lambda$ , то можно приближенно считать, что  $I=\text{const}$  по длине антенны, т. е. что антенну можно рассматривать как электрический диполь. В волновой (дальней) зоне меридиальная компонента поля

$$E_\theta = z_c \frac{I_0 l \sin \theta}{2\lambda r} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ В/м},$$

так как  $r=50$  км и  $\lambda=300$  м, то зона будет дальней (волновой). 2. Электрическая антенна в виде провода длиной  $l=3$  м питается синусоидальным током с частотой  $\nu=10^5$  Гц и амплитудой  $I_0=10$  А. Вычислить мощность и сопротивление излучения антенны.

Решение. Так как длина волны  $\lambda=c/\nu=300$  м  $\gg l$ , то антенну можно рассматривать как электрический диполь.

Мощность излучения антенны:

$$P = \frac{1}{12\pi} (Ik)^2 z_c = 3,95 \text{ Вт}.$$

Сопротивление излучения  $R = (2/3)\pi z_c (l/\lambda)^2 = 0,079$  Ом.

Распространение электромагнитных волн

3. По прямолинейному проводнику радиуса  $a$  течет постоянный ток с плотностью  $j$ . Показать, что энергия, втекающая в проводник и обусловленная существованием вектора Умова—Пойтинга, на отрезке провода длиной  $l$  равна джоулевым потерям энергии в рассматриваемом объеме проводника. Проводимость проводника

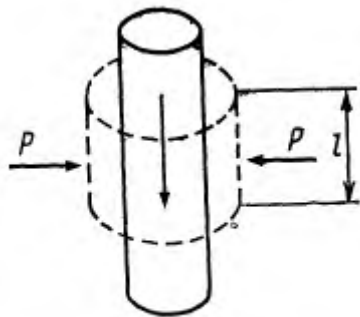


Рис. 65

равна  $\sigma$ .

$$E = j\sigma^{-1},$$

(1) магнитное поле  $H = 2^{-1} ja$ .

Решение. Электрическое поле

(2) Так как электрическое поле

направлено вдоль провода (рис. 65), а магнитное перпендикулярно к проводу, то вектор Умова—Пойтинга направлен внутрь провода и равен

$$P = 2^{-1} j^2 a \sigma^{-1}.$$

(3) Следовательно, поток вектора Умова—Пойтинга через

поверхность, охватывающую провод, равен  $\int P dS = -\pi a^2 l \sigma^{-1} j^2$ .

(4) С другой

стороны, потери на джоулево тепло определяются интегралом:

$$W = -\int \frac{j^2}{\sigma} dV = -\frac{\pi a^2 l}{\sigma} j^2. \quad (5)$$

Сравнивая (4) и (5), приходим к выводу, что потери на джоулево тепло в проводнике компенсируются энергией, втекающей в виде волн в проводник из свободного пространства. 4. Воздушная двухпроводная линия из медных проводов характеризуется следующими параметрами: активное

сопротивление  $r_0 = 6,76 \text{ Ом/км}$ , индуктивность  $L_0 = 1,89 \cdot 10^{-3} \text{ Гн/км}$ ,

емкость  $C_0 = 6,3 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/км}$ , проводимость изоляции между проводами

(утечка)  $g_0 = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$ . Линия предназначена для работы на частоте 20 кГц.

Определите волновое сопротивление линии  $Z_B$  коэффициент распространения  $\gamma$ , коэффициент затухания  $\alpha$  и коэффициент фазы  $\beta$ . Рассчитать длину бегущей

волны  $\lambda$  и ее фазовую скорость  $v_\phi$ . Решите задачу в

приближении  $\omega L_0 \gg r_0$  и  $\omega C_0 \gg g_0$ . Проверьте справедливость этого приближения для рассматриваемой линии. Решение. По определению

$$Z_B = \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{r_0 + i\omega L_0}{g_0 + i\omega C_0}} \approx \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = 546 \text{ Ом},$$

так как  $\omega L_0 \gg r_0$  и  $\omega C_0 \gg g_0$ , и

$\gamma \sqrt{(r_0 + i\omega L_0)(g_0 + i\omega C_0)} = \alpha + i\beta$ . В том же приближении  $\omega L_0 \gg r_0$  и  $\omega C_0 \gg g_0$  имеем

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{r_0}{Z_B} + g_0 Z_B \right) = 8,2 \text{ мнп/км},$$

$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0} = 435 \text{ м рад/км},$$

$$\lambda = 2\pi / \beta = 14,4 \text{ км},$$

$$v_\phi = \omega / \beta = 2,89 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Проверим справедливость использованного

$$1) \omega L_0 = 2 \cdot 10^2; r_0 = 6,76, \text{ т.е. } \omega L_0 \gg r_0;$$

приближения: 2)  $\omega C_0 = 10^{-3}; g_0 = 5,7 \cdot 10^{-6}, \text{ т.е. } \omega C_0 \gg g_0$ .

5. Определить коэффициент затухания двухпроводной линии, если мощность генератора составляет 0,1 Вт и на приемнике (на согласованной с линией нагрузке) должна выделяться мощность 100 мкВт. Длина линии равна 10 км. Решение. По определению затухание равно

$$\alpha = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{\text{ex}}}{P_{\text{п}}} = \frac{1}{2} \ln 10^3 = 3,45 \text{ неп.}$$

Коэффициент затухания линии должен быть равен

$$\alpha = \frac{a}{l} = \frac{3,45}{10} = 0,345 \text{ неп/км}.$$

6. Двухпроводная линия из медных проводов предназначена для телефонной связи на частоте  $\nu = 100 \text{ кГц}$ . Первичные параметры линии

равны:  $r_0 = 14 \text{ Ом/км}$ ,  $L_0 = 2 \text{ мГн/км}$ ,  $g_0 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$ ,  $C_0 = 6,35 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/км}$ .

Вычислить индуктивность  $L_1$ , которую надо включить на каждый километр длины, чтобы линия стала неискажающей. Решение. Линия не будет вносить искажений, если затухание и скорость распространения волн не будут зависеть от частоты.

$$\frac{r_0}{g_0} = \frac{L_0 + L_1}{C_0}, \quad (1)$$

Для этого должно выполняться условие где  $L_1$  — добавочная

индуктивность на единицу длины линии. Из (1) находим

$$L_1 = \frac{r_0 C_0}{g_0} - L_0 = 16 \text{ мГн/км.}$$

7. Линия без потерь, параметры которой  $L_0 = 1,67 \text{ мкГн/м}$ ,  $C_0 = 6,67 \text{ нФ/м}$ , нагружена на чисто активное сопротивление  $r_n = 5Z_\epsilon$ , где  $Z_\epsilon$  — волновое сопротивление линии. Определить коэффициенты отражения  $P_n$ , бегущей волны  $K_{\epsilon,\epsilon}$ , стоячей волны  $K_{c,\epsilon}$ . Решение.

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = 500 \text{ Ом.}$$

Волновое сопротивление линии

Сопротивление нагрузки

$$r_n = 5Z_\epsilon = 2500 \text{ Ом.} \quad P_n = \frac{z_n - Z_\epsilon}{z_n + Z_\epsilon} = 2/3.$$

Коэффициент отражения

Коэффициент

$$K_{\epsilon,\epsilon} = \frac{1 - |P_n|}{1 + |P_n|} = 0,2.$$

бегущей волны

$$K_{c,\epsilon} = 1/K_{\epsilon,\epsilon} = 5.$$

Коэффициент стоячей волны

8. Получите выражения для фазовой и групповой скоростей простейшей волны, распространяющейся в прямоугольном волноводе шириной  $a$  и высотой  $b$  метров.

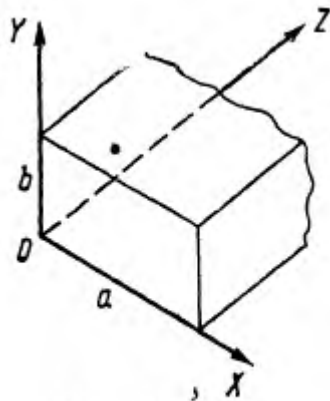


Рис. 66

Решение. Пусть оси координат направлены так, как указано на рис. 66. В простейшем случае имеется только одна компонента вектора напряженности электрического поля  $E_y$ , т. е.  $E_y$  должна иметь вид плоской волны  $E_y = E_{y_0}(x)e^{i(kz - \omega t)}$  (1) и удовлетворять волновому уравнению

$$\nabla^2 E - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 E}{dt^2} = 0. \quad (2)$$

Подставим (1) в волновое уравнение (2), получим

$$\frac{d^2 E_{y_0}}{dx^2} + \left( \frac{\omega^2}{c^2} - k^2 \right) E_{y_0} = 0. \quad (2')$$

Как известно, простейшее решение уравнения (2')

$$E_{y_0}(x) = E_{y_00} \sin \sqrt{\left( \frac{\omega^2}{c^2} - k^2 \right)} x \quad (3)$$

имеет вид

Так как поле  $E$  перпендикулярно

поверхности волновода, то при  $x=a$   $\sin a \sqrt{\omega^2/c^2 - k^2} = 0. \quad (4)$  Предполагая,

что  $\sqrt{\omega^2/c^2 - k^2} \neq 0$ , получим в простейшем случае  $a \sqrt{\omega^2/c^2 - k^2} = \pi \quad (5)$

или

$$\frac{\omega^2}{c^2} = k^2 + \frac{\pi^2}{a^2} \quad (5')$$

По определению, фазовая скорость равна

$$v_{\phi} = \omega / k \quad (6) \text{ Используя (5'), получим}$$

$$v_{\phi} = \sqrt{c^2(k^2 + \pi^2/a^2)/k^2} = c\sqrt{1 + \pi^2/(k^2 a^2)}. \quad (6') \text{ Аналогично, групповая скорость}$$

$$v_{gp} = \frac{d\omega}{dk} = c\sqrt{1 + \pi^2/(k^2 a^2)}. \quad (7)$$

Сравнивая (6') и (7), легко заметить, что

$$v_{\phi} \cdot v_{gp} = c^2.$$

9. Найдите минимальную частоту для простейшего типа волны, распространяющейся в прямоугольном волноводе шириной  $a$  и высотой  $b$  метров. Решение. Граничные условия в волноводе (см. задачу 8.) приводят к выражению  $\omega^2/c^2 = k^2 + \pi^2/a^2$ . (1) Так как  $k^2 \geq 0$ , то минимальная частота

$$\text{равна } \omega_{\min} = \omega_0 = c\pi/a. \quad (2)$$

10. Выразите длину волны в волноводе  $\lambda_s$  через длину волны в свободном пространстве  $\lambda_0$  в случае простейшего типа волн, распространяющихся в прямоугольном волноводе шириной  $a$  и высотой  $b$  метров. Решение. Фазовая скорость волны (см. задачу 8.), распространяющейся в

волноводе, равна  $v_{\phi} = c\sqrt{1 + \pi^2/(k^2 a^2)}$ . (1) Длина бегущей волны в свободном

пространстве  $\lambda_0 = 2\pi/\omega$ . (2) а в волноводе  $\lambda_s = 2\pi v_{\phi}/\omega$ . (3) Кроме того,

длина волны в волноводе также равна  $\lambda_s = 2\pi/k$ . (4) Используя (1) — (4),

окончательно находим  $\lambda_s = \lambda_0 / \sqrt{1 - (\lambda_0/2a)^2}$ .

1 После того как конденсатору колебательного контура был сообщен заряд  $q=1$  мкКл, в контуре происходят затухающие электромагнитные колебания. Какое количество теплоты выделится в контуре к тому времени, когда колебания полностью затухнут? Емкость конденсатора  $C = 0,01$  мкФ.

Решение:

Пренебрегая излучением электромагнитной энергии в пространство, можно считать, что вся запасенная в конденсаторе энергия перейдет в теплоту, т.е.

$$Q = W = q^2/2C = 5 \text{ мДж.}$$

2 Эффективное напряжение на конденсаторе колебательного контура  $V_{\text{э}} = 100$  В. Емкость конденсатора  $C=10$  пФ. Найти максимальные значения электрической и магнитной энергий в контуре.

Решение:

Электрическая энергия в контуре максимальна в те моменты времени, когда конденсатор полностью заряжен и ток в контуре равен нулю. Ее значение

$$W = CV_0^2/2 = CV_{\text{э}}^2 = 0,1 \text{ мкДж.}$$

где  $V_0 = \sqrt{2}V_{\text{э}}$  - амплитуда напряжения на конденсаторе. Эта энергия равна полной энергии контура. В те же моменты времени, когда конденсатор полностью разряжен и по катушке идет наибольший ток, внутри катушки образуется наибольшее магнитное поле, т. е. контур обладает максимальной магнитной энергией. Если считать, что потери энергии в контуре за период колебаний пренебрежимо малы, то по закону сохранения энергии максимальная магнитная энергия равна максимальной электрической.

3 Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью  $L = 3 \text{ мГн}$  и плоского конденсатора в виде двух дисков радиуса  $r=1,2 \text{ см}$ , расположенных на расстоянии  $d=0,3 \text{ мм}$  друг от друга. Найти период  $T$  электромагнитных колебаний контура. Каков будет период  $T'$  колебаний, если конденсатор заполнить веществом с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4$ ?

Решение:

Период колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{\pi\epsilon_0 L / d} = 1,26 \text{ мкс}; T' = 2\pi\sqrt{LC'} = 2\pi\sqrt{\pi\epsilon_0 \epsilon L / d} = 2,51 \text{ мкс}.$$

4 Для предотвращения короткого замыкания в колебательном контуре генератора (вследствие случайного соприкосновения обкладок переменного конденсатора друг с другом) последовательно с переменным конденсатором включается постоянный конденсатор, емкость которого  $C_0$  намного больше максимальной емкости переменного конденсатора  $C$ . Максимальной емкости переменного конденсатора  $C$  до включения постоянного конденсатора соответствовала частота колебаний  $f_1$ . Во сколько раз изменится частота колебаний контура после включения постоянного конденсатора, если емкость этого конденсатора  $C_0 = nC$ , где  $n=50$ ?

Решение:

$$f_2 / f_1 = \sqrt{1 + 1/n} = 1,01.$$

Электромагнитные колебания и волны

5 Резонанс в колебательном контуре, содержащем конденсатор емкости  $C_0 = 1 \text{ мкФ}$ , наступает при частоте колебаний  $f_1 = 400 \text{ Гц}$ . Когда параллельно конденсатору емкости  $C_0$  подключается конденсатор емкости  $C$ , резонансная частота становится равной  $f_2 = 100 \text{ Гц}$ . Найти емкость конденсатора  $C$ .

Решение:

$$f_1 = 1/2\pi\sqrt{LC_0}, f_2 = 1/2\pi\sqrt{L(C_0 + C)};$$

отсюда емкость

$$C = C_0(f_1^2 - f_2^2) / f_2^2 = 15 \text{ мкФ}.$$

6 В каких пределах должна изменяться индуктивность катушки колебательного контура, чтобы в контуре происходили колебания с частотой от  $f_1 = 400 \text{ Гц}$  до  $f_2 = 500 \text{ Гц}$ ? Емкость конденсатора  $C = 10 \text{ мкФ}$ .

Решение:

Частоты колебаний контура

$$f_1 = 1/2\pi\sqrt{L_1 C}, f_2 = 1/2\pi\sqrt{L_2 C}.$$

отсюда получаем, что индуктивность катушки должна меняться от

$$L_1 = 1/4\pi^2 C f_1^2 = 16 \text{ мГн} \text{ до } L_2 = 1/4\pi^2 C f_2^2 = 10 \text{ мГн}.$$

7 Радиоприемник можно настраивать на прием радиоволн различной длины: от  $l_1 = 25 \text{ м}$  до  $l_2 = 200 \text{ м}$ . В какую сторону и во сколько раз нужно изменить расстояние

d между пластинами плоского конденсатора, включенного в колебательный контур радиоприемника, при переходе к приему более длинных волн?

Решение:

$$d_1/d_2 = (\lambda_2/\lambda_1)^2 = 64.$$

8 Каков диапазон частот радиоволн миллиметрового диапазона (от  $\lambda_1=1$  мм до  $\lambda_2=10$  мм)?

Решение:

Граничные значения частот диапазона

$$f_1 = c/\lambda_1 \text{ и } f_2 = c/\lambda_2$$

где  $c=3 \cdot 10^8$  м/с - скорость распространения электромагнитных волн в вакууме. В результате получим

$$f_1 = 300 \text{ ГГц}, f_2 = 30 \text{ ГГц}.$$

9 Найти длину волны рентгеновских лучей, если их частота  $f = 3 \cdot 10^9$  ГГц.

Решение:

$$\lambda = c/f = 0,1 \text{ нм}.$$

10 Найти диапазон длин волн генератора, возбуждающего электромагнитные колебания заданной амплитуды и частоты, если он рассчитан на диапазон частот от  $f_1=0,1$  МГц до  $f_2 = 26$  МГц.

Решение:

$$\text{От } \lambda_1 = c/f_1 = 3 \text{ км до } \lambda_2 = c/f_2 = 11,6 \text{ м}.$$

11 Какой интервал частот и длин волн может перекрыть один из диапазонов радиоприемника, если индуктивность колебательного контура радиоприемника этого диапазона  $L = 1$  мкГн, а его емкость изменяется от  $C_1=50$  пФ до  $C_2=100$  пФ?

Решение:

Частота электромагнитных колебаний

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC},$$

длина волны

$$\lambda = c/f = c2\pi\sqrt{LC}.$$

Подставляя числовые данные, имеем

$$f_1 = 22,2 \text{ МГц}, \lambda_1 = 13,4 \text{ м}; f_2 = 16 \text{ МГц}, \lambda_2 = 19,6 \text{ м}.$$

Таким образом, диапазон радиоприемника перекрывает интервал частот

$$\Delta f = 22,2 - 16 \text{ МГц}$$

и интервал длин волн

$$\Delta \lambda = 22,2 - 16 \text{ МГц}$$

12 Какую длину волны электромагнитных колебаний будет принимать радиоприемник, колебательный контур которого имеет конденсатор с емкостью  $C=750$  пФ и катушку с индуктивностью  $L=1,34$  мГн? Найти частоту колебаний контура радиоприемника.

Решение:

$$\lambda = c/f = c \cdot 2\pi\sqrt{LC} = 1,88 \text{ км}; f = c/\lambda = 0,159 \text{ МГц}.$$

13 Частота колебаний электромагнитного контура  $f_0 = 30$  кГц. Какой будет его частота  $f$ , если расстояние между пластинами плоского конденсатора контура увеличить в  $n=1,44$  раза?

Решение:

$$f = f_0\sqrt{n} = 36 \text{ кГц}.$$

14 При изменении тока в катушке индуктивности на величину  $\Delta I = 1$  А за время  $\Delta t = 0,6$  с в ней индуцируется э.д.с.  $e = 0,2$  мВ. Какую длину  $\lambda$  будет иметь радиоволна, излучаемая генератором, колебательный контур которого состоит из этой катушки и конденсатора емкости  $C=14,1$  нФ?

Решение:

$$\lambda = 2\pi c \sqrt{C \epsilon \Delta t / \Delta I} = 2450 \text{ м}.$$

15 Найти частоту  $f$  электромагнитных колебаний контура, изображенного на рис. 148, а также круговую частоту  $\omega$ , период  $T$  и длину волны  $\lambda$ , излучаемой контуром. Индуктивность катушки контура  $L=10$  мГн, емкость конденсатора  $C_1=880$  пФ, емкость подстроечного конденсатора  $C_2 = 20$  пФ.

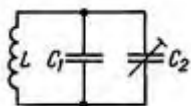


Рис. 148

Решение:

$$f = 1/2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)} = 53 \text{ кГц}; \omega = 2\pi f = 1/\sqrt{L(C_1 + C_2)} = 3,33 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}; T = 2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)} = 18,8 \text{ мкс}$$

длина волны

$$\lambda = cT = 2\pi c \sqrt{L(C_1 + C_2)} = 5650 \text{ м}.$$

## Трансформаторы

1. Установив, что задача связана с описанием электромагнитных процессов в трансформаторе при холостом ходе, дадим схемную интерпретацию данной задачи. Изобразим электромагнитную схему однофазного трансформатора и его условное графическое развернутое обозначение (рис. 1). Для произвольно выбранного направления силовых линий главного магнитного поля укажем направления ЭДС взаимной индукции в обмотках.

$$l = 10 \text{ см}^2; w_1 = 836; w_2 = 182; B_m = 1,19 \text{ Тл};$$

Числовые значения величин:  $\omega = 314 \text{ рад/с}; \Phi = \Phi_m \sin \omega t.$

Определить:  $E_1, E_2, E_{1m}, E_{2m}, e_1, e_2.$  Решение:

Подберем нужные формулы из теоретического раздела параграфа и подставим в них числовые значения заданных величин, предварительно выразив их в СИ. Действующее значение ЭДС первичной обмотки

$$E_1 = (2\pi/\sqrt{2})fN_1\Phi_m = \omega N_1\Phi_m/\sqrt{2}. \quad (1)$$

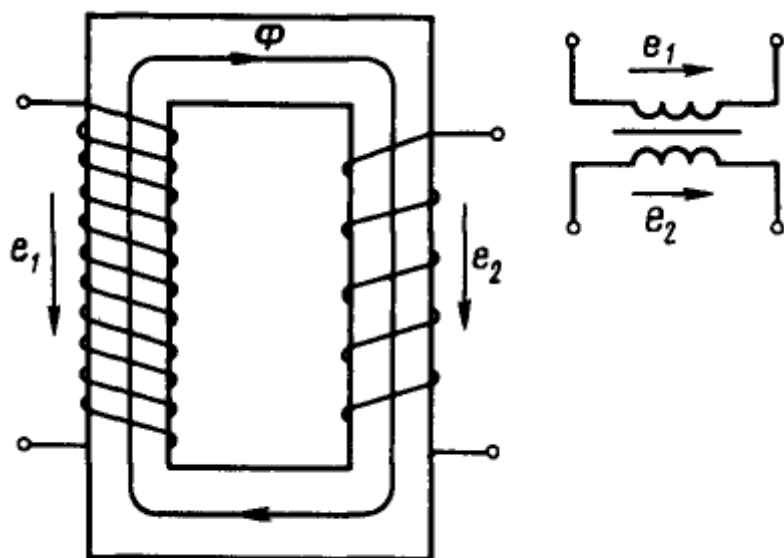


Рис. 1

Магнитный поток в магнитопроводе выразим через магнитную индукцию и активное сечение стали магнитопровода:  $\Phi_m = B_m\Pi$ . (2) С учетом (2)

$E_1 = (\omega N_1 B_m \Pi) / \sqrt{2} = (314 \cdot 836 \cdot 1,19 \cdot 10 \cdot 10^{-4}) / \sqrt{2} = 220,9 \text{ В}$ . Аналогично рассчитывается действующее значение ЭДС вторичной обмотки:

$E_2 = (\omega N_2 B_m \Pi) / \sqrt{2} = (314 \cdot 182 \cdot 1,19 \cdot 10 \cdot 10^{-4}) / \sqrt{2} = 48,1 \text{ В}$ . Амплитуды ЭДС в обмотках:

$E_{1m} = \sqrt{2}E_1 = \sqrt{2} \cdot 220,9 = 312,4 \text{ В}$ ;  $E_{2m} = \sqrt{2}E_2 = \sqrt{2} \cdot 48,1 = 68 \text{ В}$ . Мгновенные значения ЭДС при синусоидально изменяющемся магнитном потоке:

$e_1 = E_{1m} \cos \omega t = 312,4 \cos 314t$ ;  $e_2 = E_{2m} \cos \omega t = 68 \cos 314t$ . Пользуясь приложением 2, проверим размерность вычисляемых величин:

$[E] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 / \text{с} = \text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^2 (\text{м}^2 \cdot \text{с}) = \text{В}$ . Ответ:

$E_1 = 220,9 \text{ В}$ ;  $E_2 = 48,1 \text{ В}$ ;  $E_{1m} = 312,4 \text{ В}$ ;  $E_{2m} = 68 \text{ В}$ ;  $e_1 = 312,4 \cos 314t$ ;  $e_2 = 68 \cos 314t$ .

Электромагнитные процессы в трансформаторе при нагрузке 2. Задача относится к разделу "Электромагнитные процессы в трансформаторе при нагрузке" и, как следует из условия, требует графического решения с помощью векторной диаграммы.

Числовые значения величин:

$L'_{12} = 10 \text{ Гн}$ ;  $R_{12} = 33000 \text{ Ом}$ ;  $U_{10} = 380 \text{ В}$ ;  $U_{20} = 127 \text{ В}$ ;  $R_1 = 8,41 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 1,33 \text{ Ом}$ ;

$X_1 = 25,2 \text{ Ом}$ ;  $X_2 = 3,33 \text{ Ом}$ ;  $Z = 36e^{j37^\circ} \text{ Ом}$ ;  $U_2 = -108e^{j37^\circ} \text{ В}$ ;  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Определить:  $U_1, I_1, I_2, I_0$ . Решение:

Приступая к решению задачи, проведем небольшой предварительный анализ. Векторная диаграмма трансформатора является графической интерпретацией системы уравнений трансформатора. Запишем эту систему:



$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \underline{Z}_1 \dot{I}_1; \quad (1)$$

$$-\dot{E}_2' = -\dot{E}_1 = -\dot{U}_2' + \underline{Z}_2' (-\dot{I}_2'); \quad (2)$$

$$-\dot{U}_2' = \underline{Z}' (-\dot{I}_2'); \quad (3)$$

$$-\dot{E}_1 = -\dot{E}_2' = \underline{Z}_0 \dot{I}_0; \quad (4)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2'. \quad (5)$$

Сравнив систему (1)-(5) с исходными данными, легко заметить, что условие задачи позволяет непосредственно определить комплексные сопротивления первичной и вторичной

обмотки:  $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ ,  $\underline{Z}_2 = R_2 + jX_2$ . Входящее в (4) полное сопротивление

первичной обмотки при холостом ходе  $\underline{Z}_0 = R_0 + jX_0$  можно найти по исходным данным с учетом дополнительных соотношений:

$$X_0 \approx X_{12} = \omega L_{12}; \quad R_0 \approx X_{12}^2 / R_{12}. \quad (6)$$

Для решения системы необходимо величины вторичной обмотки привести к первичной, для чего надо знать значение коэффициента трансформации, которое в свою очередь можно определить по заданным величинам  $U_{10}$  и  $U_{20}$ . Если к искомым по условию задачи величинам добавить неизвестную величину  $E_1 = E_2'$ , то получим систему пяти уравнений с пятью неизвестными. Решим эту систему графически с помощью векторной диаграммы.

По (6) определим индуктивное сопротивление (или сопротивление взаимной индукции)  $X_0 \approx X_{12} = 2\pi \cdot 50 \cdot 10 = 3140 \text{ Ом}$  и величину активного

сопротивления  $R_0 = 3140^2 / 33000 = 298 \text{ Ом}$ .

Определим коэффициент трансформации  $k = U_{10} / U_{20} = 380 / 127 = 3$  и приведенные

$$\underline{Z}_2' = \underline{Z}_2 k^2 = 1,33 \cdot 3^2 + j3,33 \cdot 3^2 = 12 + j30 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}' = \underline{Z} k^2 = 36 \cdot 3^2 \cdot e^{j37^\circ} = 324 \cdot e^{j37^\circ} \text{ Ом};$$

вторичные величины:  $\dot{U}_2' = \dot{U}_2 k = -108 \cdot e^{j37^\circ} \cdot 3 = -324 \cdot e^{j37^\circ} \text{ В}$ . Перейдем к

определению искомым величин. Приведенный вторичный ток трансформатора

$\dot{I}_2' = \dot{U}_2' / \underline{Z}' = -324 \cdot e^{j37^\circ} / (324 \cdot e^{j37^\circ}) = -1 \text{ А}$ , а его реальная величина (действующее

значение)  $I_2 = kI_2' = 3 \text{ А}$ .

Чтобы определить остальные величины, построим векторную диаграмму.

Учитывая активно-индуктивный характер нагрузки, начало координат временной комплексной функции поместим в левом нижнем углу листа формата 200x170 мм, направляя действительную положительную ось по горизонтали (рис. 2).

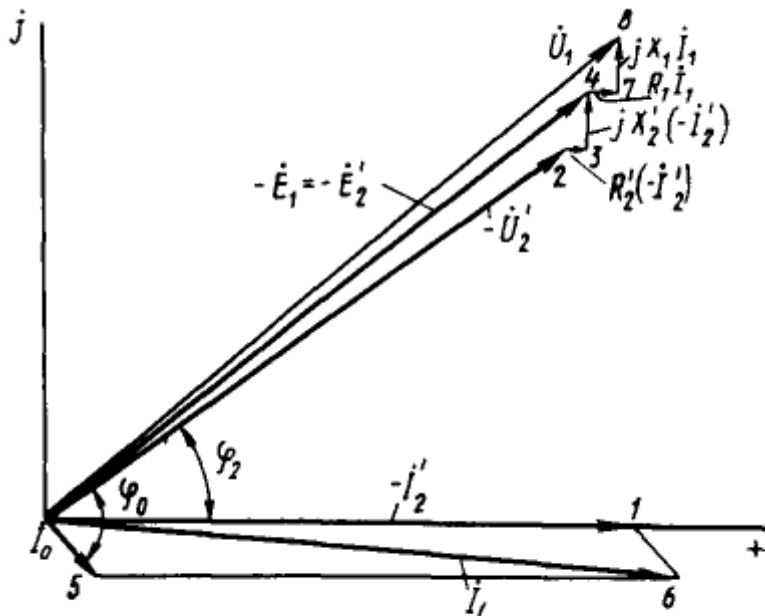


Рис. 2

Выбрав масштаб тока 1 см = 0,1 А, отложим на действительной оси обратный комплекс вторичного приведенного тока  $-I_2' = 1 \text{ A}$ .

Выбрав масштаб напряжения 1 см = 30 В, отложим обратный комплекс приведенного вторичного

напряжения  $-U_2' = 324 \cdot e^{j37^\circ} \text{ В} = 324 \cos 37^\circ + j324 \sin 37^\circ \text{ В} = 259 + j195 \text{ В}$ .

Определим значения активной и реактивной составляющих падения напряжения на вторичной обмотке:  $I_2' R_2' = 1 \cdot 12 = 12 \text{ В}$ ;  $I_2' X_2' = 1 \cdot 30 = 30 \text{ В}$ . Из конечной точки

вектора  $-U_2'$  отложим в масштабе напряжения параллельно

току  $-I_2'$  вектор  $-I_2' R_2'$ , по величине равный  $12 \text{ В} : 30 \text{ В/см} = 0,4 \text{ см}$ , и

перпендикулярно  $-I_2'$  — вектор  $-I_2' X_2'$ , равный  $30 \text{ В} : 30 \text{ В/см} = 1 \text{ см}$ . Соединив конец этого вектора с началом координат, получим вектор ЭДС взаимной

индукции  $-E_2 = -E_2'$ , по величине равный  $E_1 = 11,8 \text{ см} \cdot 30 \text{ В/см} = 354 \text{ В}$ .

Рассчитаем действующее значение тока холостого хода и фазового угла:

$$I_0 = E_1 / \sqrt{R_0^2 + X_0^2} = 354 / \sqrt{298^2 + 3140^2} = 354 / 3154 = 0,11 \text{ A}$$

$$\varphi_0 = \arctg(X_0 / R_0) = \arctg(3140 / 298) = 84,5^\circ$$

Под углом  $\varphi_0$  к

направлению вектора  $-E_1$  отложим на диаграмме

отрезок  $I_0 = 0,11 \text{ A} : 0,1 \text{ A/см} = 1,1 \text{ см}$ .

В соответствии с (5) векторная сумма токов  $I_0$  и  $(-I_2')$  определяет первичный ток трансформатора  $I_1$ . Из построений видно, что  $I_1 = 10,7 \text{ см} \cdot 0,1 \text{ A/см} = 1,07 \text{ A}$ .

Для определения первичного напряжения  $U_1$  рассчитаем значения активной и реактивной составляющей падения напряжения на первичной

обмотке  $I_1 R_1 = 1,07 \cdot 8,41 = 9 \text{ В}$ ;  $I_1 X_1 = 1,07 \cdot 25,2 = 27 \text{ В}$  и с конца вектора  $-\dot{E}_1$  отложим векторы  $\dot{I}_1 R_1$  и  $j \dot{I}_1 X_1$  (рис. 6.2), по величине равные  $I_1 R_1 = 9 \text{ В} : 30 \text{ В/см} = 0,3 \text{ см}$  и  $I_1 X_1 = 27 \text{ В} : 30 \text{ В/см} = 0,9 \text{ см}$ .

В результате получим вектор первичного напряжения  $\dot{U}_1$ , действующее значение которого  $U_1 = 12,7 \text{ см} \cdot 30 \text{ В/см} = 381 \text{ В}$ .

Для удобства последовательность графических операций на рис. 6.2 показана цифрами 1-8.

Ответ:  $U_1 = 381 \text{ В}$ ;  $I_1 = 1,07 \text{ А}$ ;  $I_0 = 0,11 \text{ А}$ ;  $I_2 = 3 \text{ А}$ .

### Несимметричная нагрузка трехфазных трансформаторов

3. Задача относится к теме "Несимметричная нагрузка трехфазных трансформаторов" и связана с определением искажения симметрии первичных фазных и вторичных напряжений при заданной несимметричной нагрузке. Условие задачи полезно проиллюстрировать схематичным изображением трехфазного трансформатора, включенного по схеме  $Y/\Delta$  и нагруженного несимметричными токами (рис. 3).

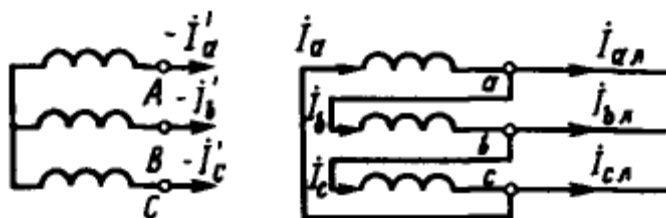


Рис. 3

Числовые значения величин:

$$S_{\Sigma} = 10000 \text{ кВА}; \dot{I}_{aЛ} = 686,7 + j540 \text{ А}; \dot{I}_{bЛ} = -533,4 + j200 \text{ А}; \dot{I}_{cЛ} = -153,3 - j740 \text{ А}; U_{Лн} = 36,75 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{AB} = U_{Лн} e^{-j15^\circ}; \dot{U}_{BC} = U_{Лн} e^{j90^\circ}; \dot{U}_{CA} = U_{Лн} e^{-j30^\circ}; u_{\Sigma} = 7,7 \%; P_{\Sigma} = 82 \text{ кВт}; k_{21} = 0,286.$$

Определить:  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C, \dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_{ca}, \dot{U}_{ba}, \dot{U}_{cb}$ . Решение:

Анализируя условие задачи, отметим, что при соединении обмоток по схеме  $Y/\Delta$  вторичные и соответственно первичные токи не содержат токов нулевой последовательности. В этом случае первичные и вторичные токи уравниваются друг друга, поток и ЭДС нулевой последовательности равны нулю, а фазные первичные напряжения при симметричных линейных напряжениях получаются симметричными и определяются положением центра тяжести треугольника линейных напряжений. Вторичные фазные напряжения отличаются от первичных на величину падения напряжения на сопротивлении короткого замыкания.

Комплексные величины линейных первичных напряжений, заданные в показательной форме, запишем в комплексной алгебраической форме:

$$\dot{U}_{AB} = U_{1\text{л}} e^{-j150^\circ} = 36,75(\cos 150^\circ - j \sin 150^\circ) = 36,75 \cdot (-0,866 - j0,5) \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{BC} = U_{1\text{л}} e^{j90^\circ} = 36,75(\cos 90^\circ + j \sin 90^\circ) = j36,75 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_{CA} = U_{1\text{л}} e^{-j30^\circ} = 36,75(\cos 30^\circ - j \sin 30^\circ) = 36,75 \cdot (0,866 - j0,5) \text{ кВ}.$$

При отсутствии тока (потока и ЭДС) нулевой последовательности фазные первичные напряжения:

$$\dot{U}_A = (\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{AB}) / 3 = 36,75 \cdot (0,866 - j0,5 + 0,866 + j0,5) / 3 = 21,24 \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_B = (\dot{U}_{AB} - \dot{U}_{BC}) / 3 = 36,75 \cdot (-0,866 - j0,5 - j) / 3 = 21,24(-0,5 - j0,866) = 21,24 e^{-j120^\circ} \text{ кВ};$$

$$\dot{U}_C = (\dot{U}_{BC} - \dot{U}_{CA}) / 3 = 36,75 \cdot (j - 0,866 + j0,5) / 3 = 21,24(-0,5 + j0,866) = 21,24 e^{j120^\circ} \text{ кВ}.$$

Видно, что трехфазная система первичных фазных напряжений симметрична.

Полученные соотношения можно проиллюстрировать графическими построениями векторной и топографической диаграмм (рис. 4). Размещая начало координат временной комплексной функции в центре листа, направляем действительную положительную ось по вертикали.

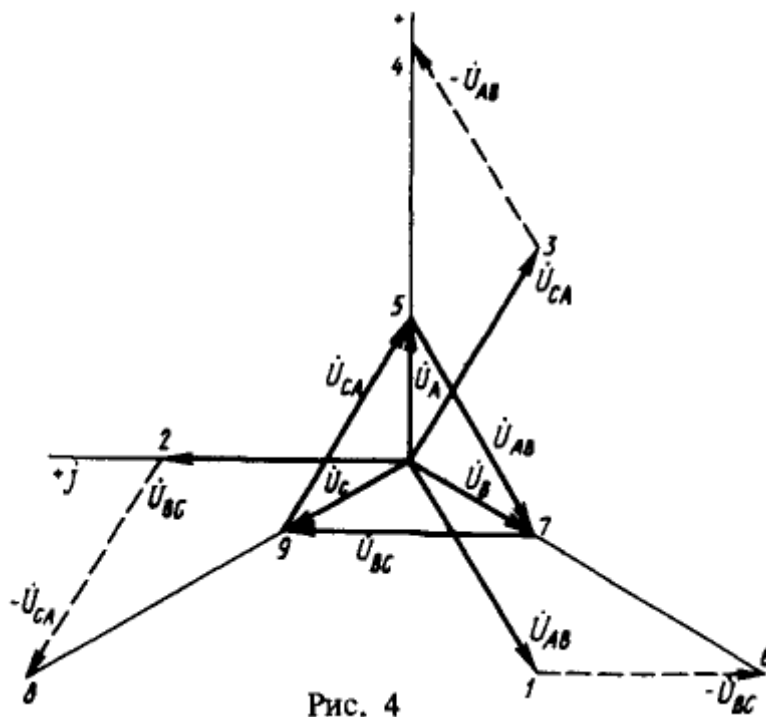


Рис. 4

Выберем масштаб напряжения 1 см = 7 кВ и отложим векторы линейных

напряжений  $\dot{U}_{AB} = -31,82 - j18,375 \text{ кВ}$ ,  $\dot{U}_{BC} = j36,75 \text{ кВ}$ ,  $\dot{U}_{CA} = 31,82 - j18,375 \text{ кВ}$ .

Прибавим к вектору  $\dot{U}_{CA}$  вектор  $-\dot{U}_{AB}$  и возьмем третью часть полученного вектора, в результате имеем искомое фазное первичное напряжение  $\dot{U}_A$ .

Аналогично строятся векторы  $\dot{U}_B$  и  $\dot{U}_C$ . Соединив концы векторов, получим топографическую диаграмму - треугольник линейных напряжений. Легко убедиться, что фазные напряжения определяются "центром тяжести" треугольника.

Как уже отмечалось, вторичные напряжения трансформатора отличаются в данном случае от первичных на величину падения напряжения на сопротивлении короткого замыкания.

Определим составляющие полного сопротивления короткого замыкания,

$$u_k = \frac{Z_k I_{1н}}{U_{1н}} 100 \% \text{ и } u_a = \frac{R_k I_{1н}}{U_{1н}} 100 = \frac{P_k}{S_n} 100 \%$$

используя соотношения:

Найдем номинальный фазный первичный ток  $I_{1н} = S_n / (\sqrt{3} U_{1н}) = 10000 / (\sqrt{3} \cdot 36,75) = 175 \text{ A}$ , полное сопротивление короткого замыкания

$Z_k = u_k U_{1н} / (I_{1н} \cdot 100) = 7,7 \% \cdot 21240 / (175 \cdot 100) = 10,04 \text{ Ом}$ ; его активная и реактивная

$$R_k = P_k U_{1н} / (\sqrt{3} S_n I_{1н}) = 82 \cdot 36750 / (\sqrt{3} 10000 \cdot 175) = 1,1 \text{ Ом};$$

составляющие:  $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{10,4^2 - 1,1^2} = 10,34 \text{ Ом};$

комплекс

полного сопротивления короткого замыкания  $Z_k = 1,1 + j10,34 = 10,4 e^{j83,9^\circ} \text{ Ом}$ . Чтобы определить вторичные фазные токи при заданном соединении обмотки в треугольник, воспользуемся соотношениями:

$$\dot{I}_a = \left( \dot{I}_{ан} - \dot{I}_{сн} \right) / 3 = (686,7 + j540 + 153,3 + j740) / 3 = 280 + j426,7 = 510,4 e^{j56,7^\circ};$$

$$\dot{I}_b = \left( \dot{I}_{бн} - \dot{I}_{ан} \right) / 3 = (-533,4 + j200 - 686,7 - j540) / 3 = -406,7 - j113,3 = 422,2 e^{j195,6^\circ};$$

$$\dot{I}_c = \left( \dot{I}_{сн} - \dot{I}_{бн} \right) / 3 = (-153,3 - j740 + 533,4 - j200) / 3 = 126,7 - j313,3 = 337,9 e^{-j67,9^\circ}.$$

Приведенные значения вторичных фазных токов:

$$\dot{I}_a' = \dot{I}_a k_{21} = 510,4 \cdot 0,286 \cdot e^{j56,7^\circ} = 146 e^{j56,7^\circ};$$

$$\dot{I}_b' = \dot{I}_b k_{21} = 422,2 \cdot 0,286 \cdot e^{j195,6^\circ} = 120,7 e^{j195,6^\circ};$$

$$\dot{I}_c' = \dot{I}_c k_{21} = 337,9 \cdot 0,286 \cdot e^{-j67,9^\circ} = 96,6 e^{-j67,9^\circ}.$$

Падения напряжения на сопротивлении короткого замыкания:

$$\underline{Z}_k \dot{I}_a' = 10,4 e^{j83,9^\circ} \cdot 146 e^{j56,7^\circ} = 1518,4 e^{j140,6^\circ} = -1173 + j964 \text{ В};$$

$$\underline{Z}_k \dot{I}_b' = 10,4 e^{j83,9^\circ} \cdot 120,7 e^{j195,6^\circ} = 1255 e^{j279,5^\circ} = 207 - j1238 \text{ В};$$

$$\underline{Z}_k \dot{I}_c' = 10,4 e^{j83,9^\circ} \cdot 96,6 e^{-j67,9^\circ} = 1004,6 e^{j16^\circ} = 966 + j277 \text{ В}.$$

Приведенные вторичные

фазные напряжения:

$$-\dot{U}_a' = \dot{U}_A + \underline{Z}_k \dot{I}_a' = 21240 - 1173 + j964 = 20067 + j964 \text{ В};$$

$$-\dot{U}_b' = \dot{U}_B + \underline{Z}_k \dot{I}_b' = -10620 - j18394 + 207 - j1238 = -10413 - j19632 \text{ В};$$

$$-\dot{U}_c' = \dot{U}_C + \underline{Z}_k \dot{I}_c' = -10620 + j18394 + 966 + j277 = -9654 + j18671 \text{ В}.$$

Вторичные

$$\dot{U}_a = \dot{U}'_a k_{21} = -(20067 + j964) \cdot 0,286 = -5740 - j275,6 \text{ В};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}'_b k_{21} = (10413 + j19632) \cdot 0,286 = 2978 + j5615 \text{ В};$$

фазные напряжения:  $\dot{U}_c = \dot{U}'_c k_{21} = (9654 - j18671) \cdot 0,286 = 2761 - j5340 \text{ В}$ . При заданной схеме соединений вторичной обмотки линейные напряжения равны фазным.

Для графической иллюстрации полученного решения построим векторную диаграмму первичных и вторичных напряжений трансформатора. Выбрав масштаб напряжения 1 см = 4 кВ и разместив начало координат временной комплексной функции в центре листа формата строим векторы первичных напряжений (рис. 5):

$$\dot{U}_A = 21,2 \text{ кВ (соответствует 5,3 см)};$$

$$\dot{U}_B = -10,6 - j18,4 \text{ кВ (или } -2,65 - j4,6 \text{ см)};$$

$$\dot{U}_C = -10,6 + j18,4 \text{ кВ (или } -2,65 + j4,6 \text{ см)}$$
 и обратные векторы приведенных

$$-\dot{U}'_a = 20 + j1 \text{ кВ (соответствует } 5 + j0,25 \text{ см)};$$

$$-\dot{U}'_b = -10,4 - j19,6 \text{ кВ (или } -2,6 - j4,9 \text{ см)};$$

вторичных напряжений:  $-\dot{U}'_c = -9,6 + j18,6 \text{ кВ (или } -2,4 + j4,65 \text{ см)}$ . Как видно из рис. 5, искажение симметрии вторичных фазных напряжений из-за симметрии токов сравнительно невелико, что обусловлено отсутствием токов нулевой последовательности.

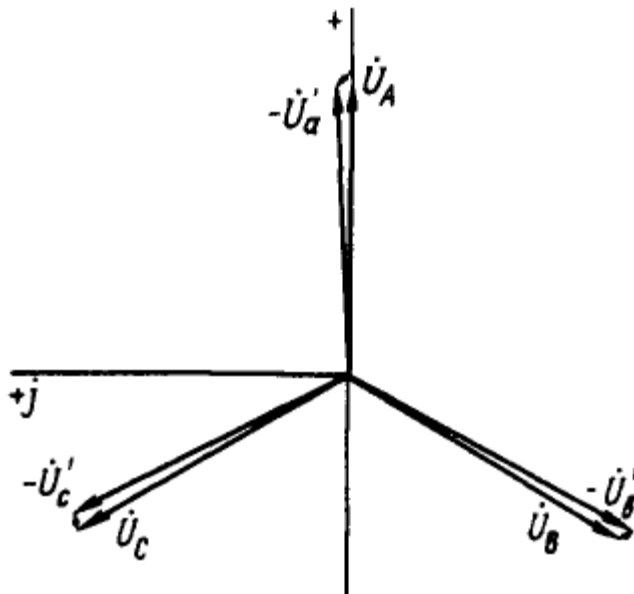


Рис. 5

Ответ:

$$\dot{U}_A = 21240 \text{ В}; \dot{U}_B = -10620 - j18394 \text{ В}; \dot{U}_C = -10620 + j18394 \text{ В}; \dot{U}_a = \dot{U}_{a\alpha} = -5740 - j275,6 \text{ В};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_{b\alpha} = 2978 + j5615 \text{ В}; \dot{U}_c = \dot{U}_{c\alpha} = 2761 - j5340 \text{ В}.$$

1. Ток в катушке со стальным сердечником при постоянном напряжении  $U_{II} = 2 \text{ В}$  между ее зажимами равен  $I_{II} = 2 \text{ А}$ . В этой же катушке при синусоидальном напряжении, действующее значение которого 30 В и частота 50 Гц, ток равен 5 А и активная мощность на входе в катушку составляет 75 Вт. Определить потери мощности в стальном сердечнике от гистерезиса и вихревых токов, а также параметры расчетной неразветвленной схемы замещения катушки, в которой потери мощности в стали учитываются как потери мощности в активном сопротивлении. Решение:

В катушке, включенной на постоянное напряжение, проходит постоянный ток. Магнитный поток, вызванный этим током, не изменяется, поэтому в сердечнике не индуцируются вихревые токи и не происходит перемагничивания. Если пренебречь незначительным (при частоте 50 Гц) поверхностным эффектом (неравномерным распределением тока по сечению провода обмотки), то активное сопротивление можно считать равным сопротивлению при постоянном токе:

$$r = \frac{U_{II}}{I_{II}} = \frac{2}{2} = 1 \text{ Ом.}$$

При  $I_{II} = 2 \text{ А}$  потери мощности в обмотке  $rI_{II}^2 = 1 \cdot 2^2 = 4 \text{ Вт}$ . При переменном токе с действующим значением 5 А в той же обмотке потери мощности будут больше (нагреванием обмотки и увеличением сопротивления от поверхностного эффекта пренебрегаем):  $rI^2 = 1 \cdot 5^2 = 25 \text{ Вт}$ . Показание ваттметра  $P = 75 \text{ Вт}$  учитывает потери мощности в обмотке, а также потери мощности в сердечнике от гистерезиса и вихревых токов (в связи с циклическим перемагничиванием), откуда потери мощности в стали сердечника

$\Delta P_{cm} = P - rI^2 = 75 - 25 = 50 \text{ Вт}$ . В неразветвленную цепь схемы замещения должно входить активное сопротивление обмотки катушки  $r = 1 \text{ Ом}$ .

Предположим, что мощность  $P_{cm} = 50 \text{ Вт}$  развивается в некотором активном

сопротивлении  $r_{cm}$  при токе  $I = 5 \text{ А}$ . Тогда  $r_{cm} = \frac{\Delta P_{cm}}{I^2} = \frac{50}{5} \approx 2 \text{ Ом}$ . Следовательно, суммарное активное сопротивление схемы замещения

$r + r_{cm} = 1 + 2 = 3 \text{ Ом}$ . Отношение приложенного напряжения  $U = 30 \text{ В}$  к току  $I$  должно быть равно полному сопротивлению  $z$  расчетной схемы

$$z = \frac{U}{I} = \frac{30}{5} = 6 \text{ Ом.}$$

В этой схеме следует предусмотреть и индуктивное

сопротивление  $x_L = \sqrt{z^2 - (r + r_{cm})^2} = \sqrt{6^2 - 3^2} = 5,18 \text{ Ом}$ .

При частоте  $f = 50 \text{ Гц}$  соответствующая индуктивность

$$L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{5,18}{314} = 0,0165 = 16,5 \text{ мГн.}$$

Потокоцепление с витками этой индуктивности

$\Psi = LI = 0,0165 \cdot 5 = 0,0825 \text{ Вб}$ .

2. К катушке с О-образным стальным сердечником с площадью поперечного сечения  $12 \text{ см}^2$  и числом витков 250 приложено синусоидальное напряжение, действующее значение которого 33,3 В и частота 50 Гц.

Определить наибольшее значение магнитной индукции в сердечнике, если активным сопротивлением обмотки и магнитным потоком рассеяния пренебречь. Решение:

Если пренебречь активным сопротивлением обмотки и магнитным потоком

рассеяния, то можно записать:  $U = 4,44 f w \Phi_m$ . Так как амплитуда магнитного потока пропорциональна амплитуде магнитной индукции  $\Phi_m = B_m S$ ,

где  $S$  — площадь поперечного сечения сердечника, то  $U = 4,44 f w B_m S$ . Подставив

числовые значения, получим  $B_m = \frac{U}{4,44 f w S} = \frac{33,3}{4,44 \cdot 50 \cdot 250 \cdot 12 \cdot 10^{-4}} = \frac{33,3}{66,3} = 0,5 \text{ Тл}$ .

3. К катушке с замкнутым стальным сердечником приложено синусоидальное напряжение, действующее значение которого 60 В и частота 50 Гц. Площадь поперечного сечения сердечника  $9 \text{ см}^2$ .

Определить число витков катушки, если между концами измерительной обмотки из 10 витков, нанесенной на сердечнике, индуцируется э. д. с. 2 В. Определить также амплитуду магнитной индукции.

Примечание

Активным сопротивлением катушки и магнитным потоком рассеяния в этом приближенном расчете пренебречь.

Решение:

При условии, указанном в задаче, приложенное напряжение уравнивает только э. д. с, индуцируемую в случае изменения основного магнитного потока,

замыкающегося в сердечнике:  $U = E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$ . Э. д. с, индуцируемая в измерительной обмотке, определяется аналогичной формулой, в правую часть

которой вместо числа витков катушки  $w_1$  входит число витков измерительной

обмотки  $w_2$ :  $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$ . Отношение  $\frac{U}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$ .

Подставив числовые значения, получим  $\frac{60}{2} = \frac{w_1}{10}$ ,

откуда

$w_1 = 300$ . Таким образом, для определения числа витков можно не знать площади поперечного сечения сердечника и частоты в отличие от определения магнитной индукции. Действительно, амплитуда магнитного потока

$$\Phi_m = \frac{U}{4,44 f w_1} = \frac{60}{4,44 \cdot 50 \cdot 300} = \frac{1}{1100} = 0,0009 \text{ Вб}.$$

Амплитуда магнитной индукции, принимаемой постоянной в различных точках поперечного сечения сердечника,

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{0,0009}{0,0009} = 1 \text{ Тл}.$$

4. О-образный сердечник собран из листовой электротехнической стали, длина средней линии сердечника 114 см, площадь

поперечного сечения  $45 \text{ см}^2$ . Сердечник предполагают использовать для изготовления однофазного трансформатора с первичным напряжением 380 В и вторичным напряжением 38 В при частоте сети 50 Гц.

Определить число витков и площади поперечного сечения провода первичной и

вторичной обмоток, допуская плотность тока в обеих цепях  $\delta = 2,5 \text{ А/мм}^2$  и напряжение между соседними витками 1 В. Решение:

Пренебрегая активным сопротивлением первичной обмотки и магнитным потоком



$$U_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$$

рассеяния, можно написать приближенно:  $U_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$ . При напряжении между соседними витками, равном 1 В, число витков первичной обмотки  $w_1 = U_1 = 380$ , а число витков вторичной обмотки  $w_2 = U_2 = 38$ . Амплитуда магнитного потока в

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44 f w_1} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 380} = 0,0045 \text{ Вб},$$

сердечнике

или из другой формулы:

$$\Phi_m = \frac{U_2}{4,44 f w_2} = \frac{38}{4,44 \cdot 50 \cdot 38} = \frac{1}{1100} = 0,0045 \text{ Вб}.$$

Амплитуда магнитной

индукции  $B_m$  определяется по амплитуде магнитного потока  $\Phi_m$  и площади

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{0,0045}{0,0045} = 1 \text{ Тл}.$$

поперечного сечения сердечника S:

По кривой

намагничивания для листовой электротехнической стали определяем амплитуду

напряженности магнитного поля:  $H_m = 600 \text{ А/м}$ . Магнитный поток (а

следовательно, и магнитная индукция) в сердечнике трансформатора практически не изменяется при переходе от режима холостого хода к нормальному режиму.

Следовательно, и при холостом ходе  $H_{0m} = 600 \text{ А/м}$ . При этом ток проходит лишь

в первичной обмотке:  $H_{0m} = \frac{I_{0m} w_1}{l}$ , откуда амплитуда тока холостого хода

$$I_{0m} = \frac{H_{0m} l}{w_1} = \frac{600 \cdot 1,14}{380} = 1,8 \text{ А}.$$

трансформатора

Так как зависимость между первичным

напряжением и током холостого хода трансформатора нелинейная, то в случае синусоидального закона изменения напряжения ток несинусоидален. Вследствие этого максимальное значение тока больше его действующего значения не

в  $\sqrt{2}$  раз. Пренебрегая этим (ввиду приближенности всего расчета), получим

$$I_0 \approx \frac{I_{0m}}{\sqrt{2}} = 1,27 \text{ А}.$$

действующее значение тока холостого хода:

Допустим, что ток

холостого хода составляет 5% от тока в первичной обмотке при номинальном

$$I_{1ном} = \frac{I_0}{0,05} = \frac{1,27}{0,05} = 25,4 \text{ А} \approx 25 \text{ А}.$$

режиме. Тогда

Приближенно ток во вторичной

$$I_{2ном} = I_{1ном} \frac{w_1}{w_2} = 25 \cdot \frac{380}{38} = 250 \text{ А}.$$

обмотке при номинальном режиме

Площадь

$$S_1 = \frac{I_{1ном}}{\delta} = \frac{25}{2,5} = 10 \text{ мм}^2,$$

поперечного сечения провода первичной обмотки

площадь поперечного сечения провода вторичной обмотки

$$S_2 = \frac{I_{2ном}}{\delta} = \frac{250}{2,5} = 100 \text{ мм}^2.$$

Ориентировочно номинальная мощность

трансформатора  $S_{ном} = U_{1ном} I_{1ном} = 380 \cdot 25 = 9500 \text{ ВА}$ .

5. На щитке трансформатора имеются следующие данные: номинальная

мощность  $S_{ном} = 5 \text{ кВА}$ , номинальная частота  $f = 50 \text{ Гц}$ , число фаз  $m = 3$ ,

номинальное высшее напряжение  $U_{1ном} = 6,3 \text{ кВ}$ , номинальное низшее

напряжение  $U_{2ном} = 0,4 \text{ кВ}$ , потери мощности холостого хода (при номинальном напряжении)  $\Delta P_0 = 60 \text{ Вт}$ , потери мощности короткого замыкания (при номинальном токе)  $\Delta P_{к.з} = 185 \text{ Вт}$ , номинальный коэффициент полезного действия  $\eta_{ном} = 95,33\%$ , напряжение короткого замыкания (в процентах от номинального напряжения)  $u_k = 5,5\%$ . Способ соединения обмоток трансформатора Y/Y-12.

Примечание.

В опыте короткого замыкания мощности первичной и вторичной обмоток равны. Определить:

- 1) коэффициент трансформации;
- 2) номинальные токи в обмотках трансформатора;
- 3) напряжения между зажимами фазных обмоток при холостом ходе;
- 4) активные сопротивления обмоток при номинальном токе;
- 5) коэффициент полезного действия трансформатора при  $\cos \varphi_2 = 0,8$  (ток приемника энергии отстает по фазе от напряжения) и нагрузках 25, 50 и 75% от номинальной. Решение:

Коэффициентом трансформации называется отношение э. д. с. обмотки высшего напряжения к э. д. с. обмотки низшего напряжения. При холостом ходе его можно считать равным приближенно (пренебрегая напряжениями  $r_1 I_{10}$  и  $x_1 I_{10}$ ) отношению напряжения  $U_{10}$  на обмотке высшего напряжения к напряжению  $U_{20}$  на обмотках низшего напряжения. При этом считают  $U_{10} = E_1$  и  $U_{20} = E_2$ . Еще более

$$k = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}} = \frac{6,3}{0,4} = 15,75.$$

приближенно В рассматриваемом случае способ соединения фазных обмоток на первичной и вторичной сторонах трансформатора одинаков (соединение звездой). Поэтому при вычислении коэффициента трансформации можно взять отношение либо линейных, либо фазных напряжений.

Зная номинальную полную мощность трансформатора  $S_{ном}$  и номинальное линейное напряжение на первичной стороне трансформатора  $U_{1ном}$ , можно определить номинальный первичный ток:

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{1ном}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 6300} = \frac{5}{10,9} = 0,46 \text{ А.}$$

Номинальный вторичный ток можно определить, учитывая коэффициент трансформации или примерное равенство мощностей вторичной и первичной сторон:

$$I_{2ном} = I_{1ном} k = 0,46 \cdot 15,75 = 7,22 \text{ А,}$$

или

$$I_{2ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{2ном}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 400} = \frac{50}{6,93} = 7,22 \text{ А}$$

Холостым ходом трансформатора называют такой режим его работы, при котором первичная обмотка присоединена к сети, а вторичная — разомкнута. Считая линейные напряжения сети

симметричными:  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 6300 \text{ В}$ , получим при схеме соединения звездой

$$U_{10\phi} = \frac{U_{10}}{\sqrt{3}} = \frac{6300}{\sqrt{3}} = 3637 \text{ В.}$$

для фазных напряжений первичной обмотки

Напряжение

на фазной вторичной обмотке при холостом ходе можно найти из условия неизменности коэффициента трансформации при всех режимах нагрузки:

$$U_{20\phi} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3}} = \frac{U_{10}}{k\sqrt{3}} = \frac{6300}{15,75 \cdot 1,73} = 231 \text{ В.}$$

При опыте короткого замыкания вторичные обмотки замкнуты накоротко и в них, так же как и в первичных обмотках, проходят номинальные токи, благодаря тому что к первичным обмоткам приложены

пониженные напряжения. Потери мощности короткого замыкания  $\Delta P_{к.з}$  равны при этом сумме потерь мощностей в обмотках первичной и вторичной цепей.

Потерями мощностей в стали сердечника (пропорциональными квадрату магнитной индукции) пренебрегают ввиду незначительной величины приложенных напряжений (5,5% от номинальных) и, следовательно, незначительной величины

магнитного потока в сердечнике. Таким образом,  $\Delta P_{к.з} = 3r_1 I_{1ном}^2 + 3r_2 I_{2ном}^2$  причем, по

условию,  $3r_1 I_{1ном}^2 = 3r_2 I_{2ном}^2$ . И так, для первичной цепи  $3r_1 I_{1ном}^2 = \frac{\Delta P_{к.з}}{2}$  или после

$$3r_1 \cdot 0,46^2 = \frac{185}{2},$$

подстановки числовых значений отсюда

$$r_1 = \frac{185}{2 \cdot 3 \cdot 0,46^2} = 145,64 \text{ Ом.}$$

Для вторичной цепи аналогично  $3r_2 I_{2ном}^2 = \frac{\Delta P_{к.з}}{2}$ , или после

$$3r_2 \cdot 7,22^2 = \frac{185}{2},$$

подстановки числовых значений отсюда

$$r_2 = \frac{185}{2 \cdot 3 \cdot 7,22^2} = 3,59 \text{ Ом.}$$

Электрическое сопротивление обмоток зависит от температуры и изменяется при переходе от холостого хода к номинальной нагрузке. Изменение сопротивления в 1 Ом при изменении температуры на 1°C

практически одинаково для меди и алюминия:  $\alpha = 0,004 \text{ град}^{-1}$ .

Коэффициент полезного действия трансформатора определяют по формуле

$$\eta = \frac{\beta S_{ном} \cos \varphi_2}{\beta S_{ном} \cos \varphi_2 + \Delta P_0 + \beta^2 \Delta P_{к.з}},$$

где  $\beta$  — число, означающее долю, которую составляет имеющаяся нагрузка от номинальной. Потери мощности в сопротивлениях обмоток пропорциональны квадрату тока, т. е. квадрату коэффициента загрузки  $\beta$ .

Потери мощности холостого хода  $\Delta P_0$ , т. е. потери мощности в стали сердечника, зависят от величины магнитного потока, который при всех режимах остается одним и тем же, если действующее значение первичного напряжения неизменно. Значения  $\beta$  следующие:

$\beta = 0,25$  при нагрузке 25% от номинальной,

$\beta = 0,5$  при нагрузке 50% от номинальной,

$\beta = 0,75$  при нагрузке 75% от номинальной.

Тогда коэффициент полезного действия:

$$\eta_{0,25} = \frac{0,25 \cdot 5000 \cdot 0,8}{0,25 \cdot 5000 \cdot 0,8 + 60 + 0,25^2 \cdot 185} = 0,9332,$$

$$\eta_{0,50} = \frac{0,5 \cdot 5000 \cdot 0,8}{0,5 \cdot 5000 \cdot 0,8 + 60 + 0,5^2 \cdot 185} = 0,9495,$$

$$\eta_{0,75} = \frac{0,75 \cdot 5000 \cdot 0,8}{0,75 \cdot 5000 \cdot 0,8 + 60 + 0,75^2 \cdot 185} = 0,9483.$$

К. п. д. трансформатора достигает максимума при такой нагрузке, при которой потери мощности в сопротивлениях обмоток, пропорциональные квадрату токов (т.е.  $\beta^2$ ), равны потерям мощности в сердечнике:  $\beta^2 \Delta P_{к.з} = \Delta P_0$ , откуда искомая доля номинальной нагрузки

$$\beta = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_{к.з}}} = \sqrt{\frac{60}{185}} \approx 0,57.$$

Задача № 1. Какую работу совершит электрический ток в электродвигателе вентилятора за 20 мин, если сила тока в цепи 0,2 А, а напряжение 12 В?

Задача № 2. Какую работу совершит электрический ток в паяльнике за 30 мин, если сопротивление паяльника 40 Ом, а сила тока в цепи 3 А?

Задача № 3. Сколько времени работал электродвигатель игрушечной машины, если при напряжении 12 В и силе тока 0,1 А электрический ток совершил работу 360 Дж?

Задача № 4. Рассчитайте расход энергии электрической лампой, включенной на 10 мин в сеть напряжением 127 В, если сила тока в лампе 0,5 А.

Задача № 5. По данным рисунка определите энергию, потребляемую лампой в течение 10 с. Как будет изменяться потребляемая лампой энергия, если ползунок реостата переместить вверх; вниз?

### Параллельное соединение проводников

Задача №1. Два проводника сопротивлением  $R_1 = 20$  Ом и  $R_2 = 35$  Ом соединены параллельно. Определить эквивалентное сопротивление цепи.

Задача №2. Четыре проводника соединены последовательно сопротивлением.  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 3$  Ом и  $R_4 = 4$  Ом. Каждый проводник можно замкнуть накоротко. Определить эквивалентное сопротивление цепи, если:

а) замкнут проводник  $R_2$ ;

б) замкнутых проводников нет

Задача №3. Участок цепи состоит из двух сопротивлений, соединённых последовательно  $R_1=20$  Ом,  $R_2=30$  Ом. Напряжение на участке цепи 100 В. Определить силу тока в цепи и напряжение на каждом резисторе.

## Эквивалентные преобразования схем электрической цепи с активными элементами

Задача №1

В электрической цепи (рис. 15)  $E_1 = 6$  В,  $E_2 = 3$  В,  $R_{вн1} = R_{вн2} = R_{ч} = 10$  Ом. Произвести эквивалентные преобразования от источника ЭДС к источнику тока и обратно.

Задача №2

Для цепи рис. 19 заданы параметры:  $E_5 = 1$  В,  $J = 1$  А,  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 10$  Ом,  $R_3 = 20$  Ом,  $R_4 = 30$  Ом,  $R_5 = 5$  Ом. Определить ток  $I_5$ , применив метод преобразований.

## Метод уравнений Кирхгофа

Задача №1

В электрической цепи  $E_1 = 20$  В;  $E_2 = 1,1$  В;  $R_{11} = 0,2$  Ом;  $R_{12} = 0,4$  Ом;  $R_1 = R_2 = 5$  Ом;  $R_3 = 7$  Ом. Определить токи в ветвях цепи с помощью законов Кирхгофа.

## Электрические цепи синусоидальной тока. Представление синусоидальной тока с помощью комплексных чисел

Задача №1

Найти комплексную амплитуду и комплексный ток, если его мгновенное значение равно

$$i(t) = 14,1 \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ A.}$$

## Последовательное соединение комплексных сопротивлений

### Задача №33 с решением

В электрической цепи (рис. 151) с последовательным соединением элементов определить ток  $\dot{I}$ , напряжение на элементах и мощность, если

$$\dot{U} = 220 \text{ В}; r = 120 \text{ Ом}; C = 30 \text{ мкФ}; L = 305 \text{ мГ}; f = 50 \text{ Гц.}$$

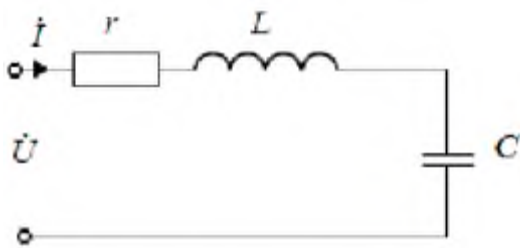


Рис. 151

### Задача №34 с решением

В электрической цепи (рис. 153) определить токи  $\dot{I}$ ,  $\dot{I}_C$ ,  $\dot{I}_L$  и полную мощность, потребляемую схемой, если

$$U = 130 \text{ В}; X_C = 5 \text{ Ом};$$

$$R_C = 12 \text{ Ом}; X_L = 6 \text{ Ом}; R_L = 8 \text{ Ом.}$$

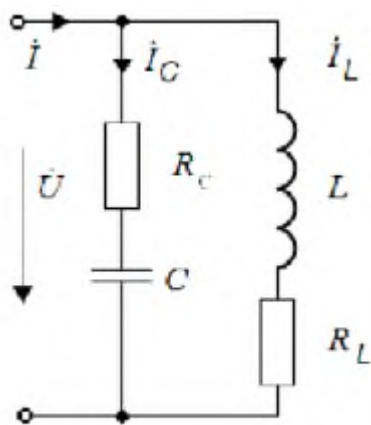
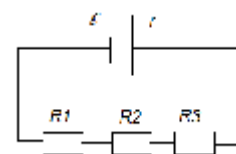


Рис. 153

### ВАРИАНТ №1

2. Медный проводник имеет длину 500 м и площадь поперечного сечения  $0,5 \text{ мм}^2$ .
- А) Чему равна сила тока в проводнике при напряжении на его концах 12 В? Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
- Б) Определите скорость упорядоченного движения электронов. Концентрацию свободных электронов для меди примите равной  $8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ , а модуль заряда электрона равным  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .
- В) К первому проводнику последовательно подсоединили второй медный проводник вдвое большего диаметра. Какой будет скорость упорядоченного движения электронов во втором проводнике?
2. К источнику тока, ЭДС которого равна 6 В, подключены резисторы, сопротивления которых  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$ . Сила тока в цепи равна 1 А.
- А) Определите внутреннее сопротивление источника тока.
- Б) Какой станет сила тока в резисторе  $R_1$ , если к резистору  $R_3$  параллельно подключить такой же резистор  $R_4$  ?
- В) Определите потерю мощности в источнике тока в случае Б).

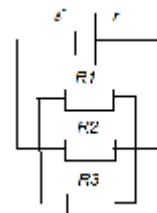


3. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением 380 В, сила тока в его обмотке равна 20 А.
- А) Какую работу совершает электрический ток в обмотке электродвигателя за 40 с?
- Б) На какую высоту за это время кран может поднять бетонный шар массой 1 т, если КПД установки 60%?
- В) Как изменятся энергетические затраты на подъем груза, если его будут поднимать из реки в воде? Плотность воды  $1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . (Сопротивлением жидкости при движении груза пренебречь)

### ВАРИАНТ №2

2. Стальной проводник диаметром 1 мм имеет длину 100 м.
- А) Определите сопротивление стального проводника, если удельное сопротивление стали  $12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

- Б) Какое напряжение нужно приложить к концам этого проводника, чтобы через его поперечное сечение за 0,3 с прошел заряд 1 Кл?
- В) При какой длине проводника и этом напряжении на его концах ( см. пункт Б) скорость упорядоченного движения электронов будет равна 0,5 мм/с? Концентрация электронов проводимости в стали  $10^{28} \text{ м}^{-3}$ . Модуль заряда электрона примите равным  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.
2. К источнику тока, ЭДС которого равна 6 В, подключены три одинаковых резистора сопротивлением 12 Ом каждый. Сила тока в неразветвленной части цепи равна 1,2 А.
- А) Определите внутреннее сопротивление источника тока.
- Б) К этим трем резисторам последовательно подключили резистор сопротивлением  $R_4 = 1$  Ом. Чему равна сила тока в резисторе  $R_4$ ?
- В) Чему равна мощность, которую выделяет источник тока во внешней цепи в случае Б)?



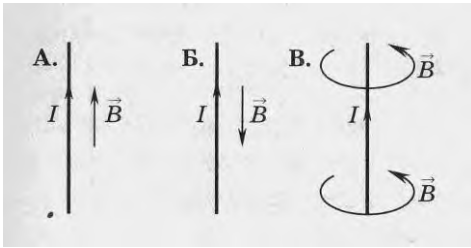
3. Электрочайник со спиралью нагревательного элемента сопротивлением 30 Ом включен в сеть напряжением 220 В.
- А) Какое количество теплоты выделит нагревательный элемент за 4 мин.?
- Б) Определите КПД электрочайника, если в нем можно вскипятить за это же время 1 кг воды, начальная температура которой  $20^0 \text{ С}$ . Удельная теплоемкость воды  $4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{ К}$ .
- В) Какая часть воды могла бы выкипеть за это же время работы электрочайника, если бы сопротивление спирали нагревательного элемента было равно 25 Ом? Удельная теплота парообразования воды  $2,3 \text{ МДж/кг}$

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 10 ПО ТЕМЕ: «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ»

#### ВАРИАНТ 1

- A1. Чем объясняется взаимодействие двух параллельных проводников с постоянным током?
4. взаимодействие электрических зарядов;
  5. действие электрического поля одного проводника с током на ток в другом проводнике;
  6. действие магнитного поля одного проводника на ток в другом проводнике.
- A2. На какую частицу действует магнитное поле?
5. на движущуюся заряженную;
  6. на движущуюся незаряженную;
  7. на покоящуюся заряженную;
  8. на покоящуюся незаряженную.
- A3. На каком из рисунков правильно показано направление индукции магнитного поля, созданного прямым проводником с током.
2. А; 2) Б; 3) В.



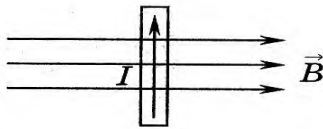


А4. Прямолинейный проводник длиной 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 4 Тл и расположен под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, если сила тока в проводнике 3 А?

2. 1,2 Н; 2) 0,6 Н; 3) 2,4 Н.

А5. В магнитном поле находится проводник с током. Каково направление силы Ампера, действующей на проводник?

2. от нас; 2) к нам; 3) равна нулю.



А6. Электромагнитная индукция – это:

4. явление, характеризующее действие магнитного поля на движущийся заряд;
5. явление возникновения в замкнутом контуре электрического тока при изменении магнитного потока;
6. явление, характеризующее действие магнитного поля на проводник с током.

А7. На квадратную рамку площадью  $1 \text{ м}^2$  в однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл действует максимальный вращающий момент, равный 4 Н·м. чему равна сила тока в рамке?

2. 1,2 А; 2) 0,6 А; 3) 2А.

В1. Установите соответствие между физическими величинами и единицами их измерения

**ВЕЛИЧИНЫ  
ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ**

А)

индуктивность

1)

тесла (Тл)

Б)

магнитный поток

2)

генри (Гн)

В)

индукция магнитного поля

3)

вебер (Вб)

4)

вольт (В)

В2. Частица массой  $m$ , несущая заряд  $q$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  по окружности радиуса  $R$  со скоростью  $v$ . Что произойдет с радиусом орбиты, периодом обращения и кинетической энергией частицы при увеличении скорости движения?

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ  
ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

- |    |                      |
|----|----------------------|
| А) | радиус орбиты        |
| 1) | увеличится           |
| Б) | период обращения     |
| 2) | уменьшится           |
| В) | кинетическая энергия |
| 3) | не изменится         |

С1. В катушке, индуктивность которой равна  $0,4$  Гн, возникла ЭДС самоиндукции, равная  $20$  В. Рассчитайте изменение силы тока и энергии магнитного поля катушки, если это произошло за  $0,2$  с .

**ВАРИАНТ 2**

А1. Поворот магнитной стрелки вблизи проводника с током объясняется тем, что на нее действует:

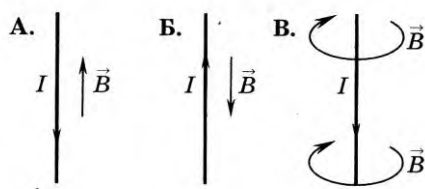
4. магнитное поле, созданное движущимися в проводнике зарядами;
5. электрическое поле, созданное зарядами проводника;
6. электрическое поле, созданное движущимися зарядами проводника.

А2. Движущийся электрический заряд создает:

4. только электрическое поле;
5. как электрическое поле, так и магнитное поле;
6. только магнитное поле.

А3. На каком из рисунков правильно показано направление индукции магнитного поля, созданного прямым проводником с током.

3. А; 2) Б; 3) В.

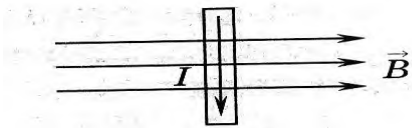


А4. Прямолинейный проводник длиной  $5$  см находится в однородном магнитном поле с индукцией  $5$  Тл и расположен под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, если сила тока в проводнике  $2$  А?

2.  $0,25$  Н; 2)  $0,5$  Н; 3)  $1,5$  Н.

А5. В магнитном поле находится проводник с током. Каково направление силы Ампера, действующей на проводник?

2. от нас; 2) к нам; 3) равна нулю.



А6. Сила Лоренца действует

4. на незаряженную частицу в магнитном поле;
5. на заряженную частицу, покоящуюся в магнитном поле;
6. на заряженную частицу, движущуюся вдоль линий магнитной индукции поля.

А7. На квадратную рамку площадью  $2 \text{ м}^2$  при силе тока в  $2 \text{ А}$  действует максимальный вращающий момент, равный  $4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Какова индукция магнитного поля в исследуемом пространстве ?

- 1) 1 Тл; 2) 2 Тл; 3) 3Тл.

В1. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины определяются

### ВЕЛИЧИНЫ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

А)

Сила, действующая на проводник с током со стороны магнитного поля

1)

$$qVB \sin \alpha$$

Б)

Энергия магнитного поля

2)

$$BS \cos \alpha$$

В)

Сила, действующая на электрический заряд, движущийся в магнитном поле.

3)

$$IBL \sin \alpha$$

4)

$$\frac{LI^2}{2}$$

В2. Частица массой  $m$ , несущая заряд  $q$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  по окружности радиуса  $R$  со скоростью  $v$ . Что произойдет с радиусом орбиты, периодом обращения и кинетической энергией частицы при увеличении заряда частицы?

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

А)

радиус орбиты

1)

увеличится

Б)

период обращения

- 2)  
уменьшится  
В)  
кинетическая энергия  
3)  
не изменится

С1. Под каким углом к силовым линиям магнитного поля с индукцией 0,5 Тл должен двигаться медный проводник сечением  $0,85 \text{ мм}^2$  и сопротивлением 0,04 Ом, чтобы при скорости 0,5 м/с на его концах возбуждалась ЭДС индукции, равная 0,35 В? (удельное сопротивление меди  $\rho = 0,017 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ )

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №11 «ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ»

### ВАРИАНТ №1

1. В катушке с площадью поперечного сечения  $5 \text{ см}^2$  индукция однородного магнитного поля равномерно уменьшается от 200 до 50 мТл за 5 мс. Линии магнитной индукции параллельны оси катушки.

- А) Определите изменение магнитного потока в катушке.  
Б) Чему равна ЭДС индукции, возникшей в катушке, если в ней 500 витков?  
В) Чему равна сила индукционного тока, возникшего в катушке? Катушка изготовлена из медного провода с площадью поперечного сечения  $0,25 \text{ мм}^2$ ? Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

2. В соленоиде при изменении в нем силы тока от 2 до 1 А за 2 с возникла ЭДС самоиндукции 0,05 В.

- А) Определите индуктивность соленоида.  
Б) На сколько изменилась (увеличилась или уменьшилась) энергия магнитного поля соленоида за это время?  
В) Определите сопротивление соленоида.

3. Проводник длиной 2 м движется без трения под углом  $30^\circ$  к вектору индукции однородного магнитного поля со скоростью 4 м/с, опираясь своими концами на два параллельных металлических стержня. На концах проводника возникает разность потенциалов 40 мВ.

- А) Чему равна индукция магнитного поля?  
Б) Определите силу тока, который будет идти через амперметр, присоединенный к стержням, если проводник перемещать в этом магнитном поле перпендикулярно линиям индукции с той же скоростью? Сопротивление амперметра 10 Ом. (Сопротивлением стержней и соединительных проводов пренебречь).  
В) Какой заряд пройдет через амперметр при перемещении проводника на расстояние 1 м?

### ВАРИАНТ №2

2. В катушке, содержащей 300 витков проволоки, в течении 6 мс происходит равномерное изменение магнитного потока.

- А) На сколько и как изменился (увеличился или уменьшился) магнитный поток, пронизывающий катушку, если в ней возникла ЭДС индукции, равная 2 В?  
Б) Определите начальное значение индукции магнитного поля, если ее конечное значение 10 мТл. Площадь поперечного сечения катушки  $4 \text{ см}^2$ . Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости катушки.

- В)** При каком начальном значении индукции магнитного поля возникающая в катушке ЭДС могла быть в 2 раза меньше?
- 2.** В контуре, индуктивность которого 0,5 Гн, при изменении силы тока в течении 0,4 с возникла ЭДС самоиндукции 5 В.
- А)** На сколько изменилась сила тока в контуре?
- Б)** Во сколько раз за это время изменилась энергия магнитного поля контура? Начальное значение силы тока равно 5 А.
- В)** Определите количество теплоты, которое выделилось в контуре за это время.
- 3.** Стальной проводник с длиной активной части 1,4 м перемещается по двум параллельным проводящим направляющим в однородном магнитном поле под углом  $45^{\circ}$  к вектору магнитной индукции. В проводнике возбуждается ЭДС индукции 0,5 В. Индукция магнитного поля 0,2 Тл.
- А)** Чему равна скорость перемещения проводника?
- Б)** Какой станет ЭДС индукции, если этот проводник перемещать перпендикулярно линиям индукции с вдвое большей скоростью?
- В)** Определите заряд, который будет проходить через поперечное сечение проводника в каждую секунду, если направляющие замкнуть накоротко. Площадь поперечного сечения проводника  $5 \text{ мм}^2$ . Удельное сопротивление стали  $12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  (Сопротивлением направляющих пренебречь).

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №12 «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ»

### ВАРИАНТ №1

- 2.** Колебательный контур радиоприемника состоит из конденсатора емкостью 1000 пФ и катушки индуктивностью 50 мкГн.
- А)** Чему равен период собственных колебаний в контуре?
- Б)** На какую длину волны настроен данный радиоприемник?
- В)** На сколько, и как необходимо изменить емкость конденсатора для настройки радиоприемника на длину волны 300 м?
- 2.** В сеть переменного тока напряжением 220 В включена катушка индуктивностью 50 мГн.
- А)** Чему равна частота переменного тока, если сила тока в цепи 1,75 А? (Активным сопротивлением катушки пренебречь).
- Б)** Определите емкость конденсатора, который нужно включить в данную цепь, чтобы в цепи наступил резонанс.
- В)** Определите резонансную частоту в цепи, если последовательно с имеющимся конденсатором включить такой же конденсатор.
- 3.** Первичная обмотка понижающего трансформатора содержит 10 000 витков и включена в сеть переменного тока напряжением 380 В.
- А)** Чему равно напряжение во вторичной обмотке, если она состоит из 1000 витков?
- Б)** Сопротивление вторичной обмотки трансформатора 1 Ом, сила тока в ней 3 А. Чему равно напряжение на нагрузке, подключенной к вторичной обмотке трансформатора?
- В)** Чему равен КПД трансформатора?

### ВАРИАНТ №2

- 2.** Открытый колебательный контур излучает радиоволны с длиной волны 300 м.
- А)** Определите частоту излучаемых волн.
- Б)** Определите индуктивность контура, если его емкость 5000 пФ.

- В)** На сколько и как нужно изменить индуктивность контура, чтобы излучались радиоволны вдвое большей длины волны?
- 2.** В сеть переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В включен конденсатор емкостью 4 мкФ.
- А)** Чему равна сила тока в цепи?
- Б)** Определите индуктивность катушки, которую нужно включить в данную цепь, чтобы в цепи наступил резонанс.
- В)** Чему будет равна резонансная частота в цепи, если параллельно с имеющимся конденсатором включить такой же конденсатор?
- 3.** Напряжение на первичной обмотке трансформатора 6 В, а на вторичной обмотке 120 В.
- А)** Чему равна сила тока во вторичной обмотке, если сила тока в первичной обмотке равна 4 А?
- Б)** Определите напряжение на выходе трансформатора, если его КПД равен 95%.
- В)** Чему равно сопротивление вторичной обмотки трансформатора?

### **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №13 «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ»**

#### **ВАРИАНТ 1**

1. Определить угол преломления стекла, если угол падения равен  $60^0$ , а показатель преломления стекла 1,6.
2. Определить длину волны в сероуглероде, если в воздухе она равна 500 нм.
3. Определить скорость света в воде.

#### **ВАРИАНТ 2**

1. Световая волна длиной 600 нм переходит из алмаза в воздух, показатель преломления алмаза 2,4. Определить длину световой волны и скорость света в воздухе.
2. Определить угол падения света на стекло, если угол преломления равен  $45^0$ , а показатель преломления стекла равен 1,6.
3. Определить время, за которое световая волна пройдет стеклянную призму толщиной 400 см.

