

Л. Э. Генденштейн, А. А. Булатова,  
А. В. Кошкина, И. Н. Корнильев

# ФИЗИКА

10 класс

Базовый и углубленный уровни

Методическое пособие  
с указаниями к решению задач  
повышенной трудности



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний

УДК 372.853  
ББК 74.262.22  
Г34

Авторы:

Л. Э. Генденштейн, А. А. Булатова,  
А. В. Кошкина, И. Н. Корнильев

**Генденштейн Л. Э.**

**Г34** Физика. 10 класс. Базовый и углублённый уровни. Методическое пособие с указаниями к решению задач повышенной трудности / Л. Э. Генденштейн, А. А. Булатова, А. В. Кошкина, И. Н. Корнильев. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2018. — 368 с : ил.

ISBN 978-5-9963-3525-1

Настоящая книга состоит из четырёх частей: «Примерная рабочая программа», «Примерное поурочное планирование», «Методические рекомендации» и «Указания к решению задач повышенной трудности».

Примерная рабочая программа соответствует всему курсу физики для старшей школы (10 и 11 классы).

В примерном поурочном планировании приведено распределение часов по всем разделам физики на базовом уровне (2 часа в неделю) и на углублённом уровне (5 часов в неделю). Также представлено примерное содержание уроков для базового и углублённого уровней.

В «Методических рекомендациях» изложены основные положения Метода исследования ключевых ситуаций как методической основы реализации деятельностного подхода к обучению физике, а также приведены тематические рекомендации по главам.

Для учителей физики и методистов.

**УДК 372.853**  
**ББК 74.262.22**

© ООО «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2018  
© Генденштейн Л. Э., Булатова А. А.,  
Кошкина А. В., Корнильев И. Н.  
© Художественное оформление  
ООО «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2018  
Все права защищены

ISBN 978-5-9963-3525-1

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга состоит из следующих четырёх частей.

- Примерная рабочая программа.
- Примерное поурочное планирование и содержание уроков.
- Методические рекомендации.
- Указания к решению задач повышенной трудности.

Примерная рабочая программа соответствует всему курсу физики для старшей школы (10 и 11 классы).

В примерном поурочном планировании приведено распределение часов по всем разделам физики на базовом уровне (2 часа в неделю) и на углублённом уровне (5 часов в неделю).

Представлено также примерное содержание уроков для базового и углублённого уровней.

Методические рекомендации начинаются с раздела «Обучение физике с использованием метода исследования ключевых ситуаций», в котором излагается указанный метод как реализация системно-деятельностного подхода к обучению. Систематическое использование этого метода позволит организовать учебно-исследовательскую деятельность учащихся на большинстве уроков физики, благодаря чему учащиеся овладеют искусством не только решения, но и постановки задач. Далее приведены тематические методические рекомендации по главам.

В указаниях к решению задач повышенной трудности приводятся соображения, позволяющие записать уравнения или системы уравнений, необходимые для решения большинства таких задач, содержащихся в учебнике. При этом мы не даём готовых решений, которые могут списать учащиеся, когда эта книга попадёт им в руки. Поэтому приведённые в настоящей книге указания к решению задач не следует «держат в тайне» от учеников, наоборот, если у ваших учеников тоже будет эта книга, они не будут искать «решешники» (часто с ошибками).

Примерная рабочая программа написана совместно с Н. Н. Лукиенко.

Желаем плодотворной и дружной совместной работы с учениками!

# **ПРИМЕРНАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

## **Физика. 10–11 класс (базовый и углублённый уровни)<sup>1)</sup>**

### **Пояснительная записка**

Программа учебного предмета «Физика» предназначена для учителей, работающих в 10–11-х классах общеобразовательных организаций.

Программа составлена на основе следующих документов.

1. Приказ Минобрнауки России от 6 октября 2009 г. № 413 «Об утверждении и введении в действие федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования».

2. Приказ Минобрнауки России от 29 декабря 2014 года № 1645 «О внесении изменений в приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413 “Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего (полного) общего образования”».

3. Примерная основная образовательная программа среднего общего образования. Одобрена решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию (протокол от 28 июня 2016 г. № 2/16-з).

Программа определяет содержание и структуру учебного материала, последовательность его изучения, пути формирования системы знаний, умений и способов деятельности, развития, воспитания и социализации учащихся.

В программе представлено планирование на 70/175 часов в год.

#### **Цель изучения физики как учебного предмета:**

- продолжить формирование у обучающихся представлений о научной картине мира — важного ресурса научно-технического прогресса, ознакомление обучающихся с физическими и астрономическими явлениями, основными принципами работы механизмов, высокотехнологичных устройств и приборов, развитие компетенций в

---

1) Примерная рабочая программа написана совместно с Н. Н. Лукиенко.

решении инженерно-технических и научно-исследовательских задач;

- достижение выпускниками планируемых результатов: знаний, умений, навыков, компетенций и компетентностей, определяемых личностными, семейными, общественными, государственными потребностями и возможностями обучающегося в 10—11-х классах, индивидуальной образовательной траектории его развития и состояния здоровья.

#### **Задачи обучения физике:**

- развитие у обучающихся представлений о строении, свойствах, законах существования и движения материи, освоение обучающимися общих законов и закономерностей природных явлений, создание условий для формирования интеллектуальных, творческих, гражданских, коммуникационных, информационных компетенций;
- овладение научными методами решения различных теоретических и практических задач, умениями формулировать гипотезы, конструировать, проводить эксперименты, оценивать и анализировать полученные результаты, сопоставлять их с объективными реалиями жизни;
- формирование у обучающихся умений безопасно использовать лабораторное оборудование, проводить естественнонаучные исследования и эксперименты, анализировать полученные результаты, представлять и научно аргументировать полученные выводы;
- формирование у обучающихся научного мировоззрения, освоение общенаучных методов (наблюдение, измерение, эксперимент, моделирование), освоение практического применения научных знаний физики в жизни, формирование межпредметных связей с такими предметами, как математика, информатика, химия, биология, география, экология, литература и др.

## **Характеристика учебного предмета и его место в учебном плане**

### **Характеристика учебного предмета**

Изучение физики в 10—11-м классах на базовом и углублённом уровнях знакомит учащихся с основами физики и её

применением, влияющим на развитие цивилизации. Понимание основных законов природы и влияния науки на развитие общества — важнейший элемент общей культуры. Изучение физики необходимо для формирования миропонимания, развития научного способа мышления.

Эффективное изучение учебного предмета предполагает преемственность, когда постоянно привлекаются полученные ранее знания, устанавливаются новые связи в изучаемом материале. Это особенно важно учитывать при изучении физики в старших классах, поскольку многие из изучаемых вопросов уже знакомы учащимся по курсу физики основной школы. Следует учитывать, однако, что среди старшеклассников, выбравших изучение физики на базовом уровне, есть и такие, у кого были трудности при изучении физики в основной школе. Поэтому в данной программе предусмотрено повторение и углубление основных идей и понятий, изучавшихся в курсе физики основной школы.

Главное отличие при изучении предмета «Физика» в старших классах от изучаемого в основной школе материала состоит в том, что в 7—9-м классах изучаются физические явления, а в 10—11-м классах — основы физических теорий и их применение.

Для решения задач формирования основ научного мировоззрения, развития интеллектуальных способностей и познавательных интересов школьников в процессе изучения физики основное внимание следует уделять знакомству с методами научного познания окружающего мира, постановке проблем, требующих от учащихся самостоятельной деятельности по их разрешению.

Методологической основой Программы и УМК для 10—11-го классов является системно-деятельностный подход. Авторский коллектив УМК рекомендует использовать метод ключевых ситуаций, который позволяет организовать учебно-исследовательскую деятельность учащихся, реализовать системно-деятельностный подход при изучении физики как учебного предмета.

### **Место учебного предмета в учебном плане**

В средней школе физика изучается в 10-м и 11-м классах. Учебный план включает 140 учебных часов на базовом уровне, из расчёта 2 учебных часа в неделю и 350 часов на углублённом уровне, из расчёта 5 учебных часов в неделю.

## **Планируемые личностные и метапредметные результаты освоения учебного предмета «Физика»**

### **Планируемые личностные результаты**

**Личностные результаты в сфере отношений обучающихся к себе, к своему здоровью, к познанию себя:**

- ориентация обучающихся на реализацию позитивных жизненных перспектив, инициативность, креативность, готовность и способность к личностному самоопределению, способность ставить цели и строить жизненные планы;
- готовность и способность обучающихся к отстаиванию собственного мнения, выработке собственной позиции по отношению к общественно-политическим событиям прошлого и настоящего на основе осознания и осмысления истории, духовных ценностей и достижений нашей страны, в том числе в сфере науки и техники;
- готовность и способность обучающихся к саморазвитию и самовоспитанию в соответствии с общечеловеческими ценностями и идеалами гражданского общества;
- принятие и реализация ценностей здорового и безопасного образа жизни.

**Личностные результаты в сфере отношений обучающихся к России как к Родине (Отечеству):**

- российская идентичность, способность к осознанию российской идентичности в поликультурном социуме, чувство причастности к историко-культурной общности российского народа и судьбе России, патриотизм, готовность к служению Отечеству;
- уважение к своему народу, чувство ответственности перед Родиной, гордости за свой край, свою Родину, прошлое и настоящее многонационального народа России.

**Личностные результаты в сфере отношений обучающихся к закону, государству и к гражданскому обществу:**

- мировоззрение, соответствующее современному уровню развития науки и общественной практики, основанное на диалоге культур, а также различных форм общественного сознания, осознание своего места в поликультурном мире;

- готовность обучающихся к конструктивному участию в принятии решений, затрагивающих права и интересы, в том числе в различных формах общественной самоорганизации, самоуправления, общественно значимой деятельности.

**Личностные результаты в сфере отношений обучающихся с окружающими людьми:**

- нравственное сознание и поведение на основе усвоения общечеловеческих ценностей, толерантного сознания и поведения в поликультурном мире, готовности и способности вести диалог с другими людьми, достигать в нём взаимопонимания, находить общие цели и сотрудничать для их достижения;
- принятие гуманистических ценностей, осознанное, уважительное и доброжелательное отношение к другому человеку, его мнению, мировоззрению;
- способность к сопереживанию и формирование позитивного отношения к людям, в том числе к лицам с ограниченными возможностями здоровья; бережное, ответственное и компетентное отношение к физическому и психологическому здоровью других людей;
- компетенции сотрудничества со сверстниками, детьми младшего возраста, взрослыми в образовательной, общественно-полезной, учебно-исследовательской, проектной и других видах деятельности.

**Личностные результаты в сфере отношений обучающихся к окружающему миру, к живой природе:**

- мировоззрение, соответствующее современному уровню развития науки, понимание значимости науки, готовность к научно-техническому творчеству, владение достоверной информацией о передовых достижениях и открытиях мировой и отечественной науки, заинтересованность в научных знаниях об устройстве мира и общества;
- готовность и способность к образованию, в том числе самообразованию, на протяжении всей жизни; сознательное отношение к непрерывному образованию как условию успешной профессиональной и общественной деятельности;
- экологическая культура, бережные отношения к родной земле, природным богатствам России и мира, понимание влияния социально-экономических процессов на состояние природной и социальной среды, ответственность за состояние природных ресурсов, формирование умений и

навыков разумного природопользования, нетерпимого отношения к действиям, приносящим вред экологии; приобретение опыта эколого-направленной деятельности.

**Личностные результаты в сфере отношений обучающихся к труду, в сфере социально-экономических отношений:**

- осознанный выбор будущей профессии;
- готовность обучающихся к трудовой профессиональной деятельности как к возможности участия в решении личных, общественных, государственных, общенациональных проблем;
- потребность трудиться, уважение к труду и людям труда, трудовым достижениям, добросовестное, ответственное и творческое отношение к разным видам трудовой деятельности.

**Личностные результаты в сфере отношений физического, психологического, социального и академического благополучия обучающихся:**

- физическое, эмоционально-психологическое, социальное благополучие обучающихся в жизни образовательной организации, ощущение детьми безопасности и психологического комфорта, информационной безопасности.

## **Планируемые метапредметные результаты**

### **Регулятивные универсальные учебные действия**

#### ***Выпускник научится:***

- самостоятельно определять цели, ставить и формулировать собственные задачи в образовательной деятельности и жизненных ситуациях;
- оценивать ресурсы (в том числе время и другие нематериальные ресурсы), необходимые для достижения поставленной ранее цели, сопоставлять имеющиеся возможности и необходимые для достижения цели ресурсы;
- организовывать эффективный поиск ресурсов, необходимых для достижения поставленной цели;
- определять несколько путей достижения поставленной цели и выбирать оптимальный путь достижения цели с учётом эффективности расходования ресурсов и основываясь на соображениях этики и морали;
- задавать параметры и критерии, по которым можно определить, что цель достигнута;

- сопоставлять полученный результат деятельности с поставленной заранее целью, оценивать последствия достижения поставленной цели в деятельности, в собственной жизни и жизни окружающих людей.

### **Познавательные универсальные учебные действия**

#### ***Выпускник научится:***

- с разных позиций критически оценивать и интерпретировать информацию, распознавать и фиксировать противоречия в различных информационных источниках, использовать различные модельно-схематические средства для их представления;
- осуществлять развёрнутый информационный поиск и ставить на его основе новые (учебные и познавательные) задачи, искать и находить обобщённые способы их решения;
- приводить критические аргументы в отношении суждений, анализировать и преобразовывать проблемно-противоречивые ситуации;
- выходить за рамки учебного предмета и осуществлять целенаправленный поиск возможности широкого переноса средств и способов действия;
- менять и удерживать разные позиции в познавательной деятельности (ставить проблему и работать над её решением; управлять совместной познавательной деятельностью и подчиняться).

### **Коммуникативные универсальные учебные действия**

#### ***Выпускник научится:***

- выстраивать деловые взаимоотношения при работе, как в группе сверстников, так и со взрослыми;
- при выполнении групповой работы исполнять разные роли (руководителя и члена проектной команды, генератора идей, критика, исполнителя и т. д.);
- развёрнуто, логично и точно излагать свою точку зрения с использованием различных устных и письменных языковых средств;
- координировать и выполнять работу в условиях реального и виртуального взаимодействия, согласовывать позиции членов команды в процессе работы над общим продуктом/решением;
- публично представлять результаты индивидуальной и групповой деятельности;

- подбирать партнёров для работы над проектом, исходя из соображений результативности взаимодействия, а не личных симпатий;
- точно и ёмко формулировать замечания в адрес других людей в рамках деловой и образовательной коммуникации, избегая личностных оценочных суждений.

## **Содержание учебного предмета, планируемые предметные результаты освоения учебного предмета «Физика» и тематическое планирование (базовый уровень)**

### **Содержание учебного предмета**

#### **Физика и естественнонаучный метод познания природы (1 ч)**

Физика — фундаментальная наука о природе. Методы научного исследования физических явлений. Моделирование физических явлений и процессов. Физический закон — границы применимости. Физические теории и принцип соответствия. Роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в практической деятельности людей. Физика и культура.

#### **Механика (43 ч)**

Границы применимости классической механики. Важнейшие кинематические характеристики — перемещение, скорость, ускорение. Основные модели тел и движений.

Взаимодействие тел. Законы: Всемирного тяготения, Гука, сухого трения. Инерциальная система отсчёта. Законы механики Ньютона.

Импульс материальной точки и системы. Изменение и сохранение импульса. Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований. Механическая энергия материальной точки и системы. Закон сохранения механической энергии. Работа силы.

Равновесие материальной точки и твёрдого тела. Условия равновесия. Момент силы. Равновесие жидкости и газа. Давление. Закон сохранения энергии в динамике жидкости.

Механические колебания и волны. Превращения энергии при колебаниях. Энергия волны.

**Лабораторные работы:**

- измерение жёсткости пружины;
- определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути;
- нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения;
- изучение колебаний пружинного маятника.

**Молекулярная физика и термодинамика (15 ч)**

Молекулярно-кинетическая теория (МКТ) строения вещества и её экспериментальные доказательства. Абсолютная температура как мера средней кинетической энергии теплового движения частиц вещества. Модель идеального газа. Давление газа. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Менделеева — Клапейрона.

Агрегатные состояния вещества. Модель строения жидкостей.

Внутренняя энергия. Работа и теплопередача как способы изменения внутренней энергии. Первый закон термодинамики. Необратимость тепловых процессов. Принципы действия тепловых машин.

**Лабораторные работы:**

- опытная проверка закона Бойля — Мариотта;
- опытная проверка закона Гей-Люссака.

**Электродинамика (50 ч)**

Электрическое поле. Закон Кулона. Напряжённость и потенциал электростатического поля. Проводники, полупроводники и диэлектрики. Конденсатор.

Постоянный электрический ток. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи. Электрический ток в проводниках, электролитах, полупроводниках, газах и вакууме. Сверхпроводимость.

Индукция магнитного поля. Действие магнитного поля на проводник с током и движущуюся заряженную частицу. Сила Ампера и сила Лоренца. Магнитные свойства вещества.

Закон электромагнитной индукции. Электромагнитное поле. Переменный ток. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия электромагнитного поля.

Электромагнитные колебания. Колебательный контур.

Электромагнитные волны. Диапазоны электромагнитных излучений и их практическое применение.

Геометрическая оптика. Волновые свойства света.

Инвариантность модуля скорости света в вакууме. Принцип относительности Эйнштейна. Связь массы и энергии свободной частицы. Энергия покоя.

**Лабораторные работы:**

- мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении;
- определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока;
- действие магнитного поля на проводник с током;
- исследование явления электромагнитной индукции. Конструирование трансформатора;
- исследование вихревого электрического поля;
- исследование преломления света на границах раздела «воздух — стекло» и «стекло — воздух»;
- наблюдение интерференции и дифракции света;
- определение длины световой волны с помощью дифракционной решётки.

**Квантовая физика. Физика атома и атомного ядра (16 ч)**

Гипотеза М. Планка. Фотоэлектрический эффект. Фотон. Корпускулярно-волновой дуализм. Соотношение неопределённостей Гейзенберга.

Планетарная модель атома. Объяснение линейчатого спектра водорода на основе квантовых постулатов Бора.

Состав и строение атомного ядра. Энергия связи атомных ядер. Виды радиоактивных превращений атомных ядер.

Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции. Цепная реакция деления ядер.

Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия.

**Лабораторные работы:**

- изучение спектра водорода по фотографии;
- изучение треков заряженных частиц по фотографии.

**Строение Вселенной (8 ч)**

Современные представления о происхождении и эволюции Солнца и звёзд. Классификация звёзд. Звёзды и источники их энергии.

Галактика. Представление о строении и эволюции Вселенной.

**Резерв учебного времени (7 ч)**

## Планируемые предметные результаты изучения

### Выпускник *научится*:

- демонстрировать на примерах роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологий, в практической деятельности людей;
- использовать информацию физического содержания при решении учебных, практических, проектных и исследовательских задач, интегрируя информацию из различных источников и критически её оценивая;
- различать и уметь использовать в учебно-исследовательской деятельности методы научного познания (наблюдение, описание, измерение, эксперимент, выдвижение гипотезы, моделирование и т. д.) и формы научного познания (факты, законы, теории), демонстрируя на примерах их роль и место в процессе научного познания;
- проводить исследования зависимости между физическими величинами: проводить измерения и определять на основе исследования значение параметров, характеризующих данную зависимость между величинами и делать вывод с учётом погрешности измерений;
- использовать для описания характера протекания физических процессов физические величины и демонстрировать взаимосвязь между ними;
- использовать для описания характера протекания физических процессов физические законы с учётом границ их применимости;
- решать качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): используя модели, физические величины и законы, выстраивать логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);
- решать расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделять физическую модель, находить физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводить расчёты и проверять полученный результат;
- учитывать границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;
- использовать информацию и применять знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для

решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач;

- использовать знания о физических объектах и процессах в повседневной жизни для обеспечения безопасности при обращении с приборами и техническими устройствами, для сохранения здоровья и соблюдения норм экологического поведения в окружающей среде, для принятия решений в повседневной жизни.

**Выпускник получит возможность научиться:**

- понимать и объяснять целостность физической теории, различать границы её применимости и место в ряду других физических теорий;
- владеть приёмами построения теоретических доказательств, а также прогнозирования особенностей протекания физических явлений и процессов на основе полученных теоретических выводов и доказательств;
- характеризовать системную связь между основополагающими научными понятиями: пространство, время, материя (вещество, поле), движение, сила, энергия;
- выдвигать гипотезы на основе знания основополагающих физических закономерностей и законов;
- самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты;
- характеризовать глобальные проблемы, стоящие перед человечеством: энергетические, сырьевые, экологические и показывать роль физики в решении этих проблем;
- решать практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с выбором физической модели, используя несколько физических законов или формул, связывающих известные физические величины, в контексте межпредметных связей;
- объяснять принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств;
- объяснять условия применения физических моделей при решении физических задач, находить адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешать проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки.

## Тематическое планирование 10 класс

(2 часа в неделю, всего 70 часов)

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося <sup>1)</sup>
<b>ФИЗИКА И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ ПРИРОДЫ (1 ч)</b>		
Физика — фундаментальная наука о природе	<p>Научный метод познания мира. Взаимосвязь между физикой и другими естественными науками. Методы научного исследования физических явлений. Моделирование явлений и процессов природы. Границы применимости физического закона. Физические теории и принцип соответствия. Роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в практической деятельности людей</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Объясняет на примерах роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологий, в практической деятельности людей;</li> <li>• демонстрирует на примерах взаимосвязь между физикой и другими естественными науками</li> </ul>
<b>МЕХАНИКА (38 ч)</b>		
<b>Кинематика (15 ч)</b>		
Предмет и задачи классической механики.	Система отсчёта, материальная точка, траектория, путь и перемещение.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (пере-</li> </ul>

<p>Границы применимости классической механики. Система отсчёта, траектория, путь и перемещение.</p> <p>Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей.</p> <p>Прямолинейное равноускоренное движение. Сложение скоростей.</p> <p>Прямолинейное равноускоренное движение. Свободное падение.</p> <p>Равномерное движение по окружности</p>	<p>Прямолинейное равномерное движение, график зависимости координаты тела от времени, средняя скорость, сложение скоростей при движении вдоль одной прямой.</p> <p>Прямолинейное равноускоренное движение: зависимость скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении, график зависимости скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении, перемещение при прямолинейном равноускоренном движении, тормозной путь.</p> <p>Свободное падение тела, движение тела, брошенного вертикально вверх.</p> <p>Равномерное движение по окружности: направление скорости тела при движении по окружности, ускорение тела при равномерном движении по окружности, частота обращения и угловая скорость.</p> <p>Контрольная работа № 1 «Кинематика»</p>	<p>мещение, ускорение, скорость) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера), используя модели (материальная точка), физические величины (перемещение, ускорение, скорость, угловая скорость, период и частота обращения), выстраивая логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления); выдвигает гипотезы, проводит эксперимент, ставит опыты, наблюдает, делает анализ;</li> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, применяет физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат</li> </ul>
---	--	---

1) Универсальные учебные действия отражены в Планируемых результатах освоения учебного предмета «Физика».

*Продолжение таблицы*

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
<p><b>Динамика (12 ч)</b></p> <p>Три закона Ньютона. Силы тяготения. Силы упругости. Силы трения</p>	<p>Три закона Ньютона: закон инерции — первый закон Ньютона, принцип относительности Галилея, второй закон Ньютона, масса тела, единица силы, силы в механике, третий закон Ньютона.</p> <p>Силы тяготения: закон всемирного тяготения, условия применимости формулы закона всемирного тяготения, движение планет вокруг Солнца, сила тяжести и закон всемирного тяготения, первая космическая скорость, как измерили гравитационную постоянную.</p> <p>Силы упругости: силы упругости и деформация тел, закон Гука, меры сил упругости, вес тела, движущегося с ускорением.</p> <p>Абсолютная и относительная погрешности.</p> <p>Лабораторная работа № 1 «Измерение жёсткости пружины».</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (сила, масса, ускорение, скорость) и деформирует взаимосвязь между ними;</li> <li>• использует для описания характера протекания физических процессов физические законы с учётом границ их применимости;</li> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера), используя физические величины (сила, масса, ускорение, скорость), выстраивая логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</li> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и законы, необходимые и достаточные для её</li> </ul>

	<p>Силы трения: сила трения скольжения, сила трения покоя, другие виды сил трения.</p> <p>Тело на наклонной плоскости: тело на гладкой наклонной плоскости, условие покоя тела на шероховатой наклонной плоскости.</p> <p>Контрольная работа № 2 «Динамика»</p>	<p>решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам</li> </ul>
<b>Законы сохранения в механике (9 ч)</b>		
<p>Импульс. Закон сохранения импульса, условия применения закона сохранения импульса.</p> <p>Реактивное движение.</p> <p>Освоение космоса.</p> <p>Механическая работа.</p> <p>Мощность.</p> <p>Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия.</p> <p>Закон сохранения энергии в механике.</p> <p>Движение жидкостей и газов</p>	<p>Импульс. Закон сохранения импульса: импульс, импульс силы, закон сохранения импульса, условия применения закона сохранения импульса.</p> <p>Реактивное движение. Освоение космоса: реактивное движение, развитие ракетостроения, освоение космоса, современное состояние космических исследований.</p> <p>Механическая работа. Мощность: определение работы, работа силы тяжести, работа силы упругости, работа силы трения, мощность.</p> <p>Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия: связь энергии и работы, потенциальная энергия,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (импульс, механическая работа, мощность, кинетическая и потенциальная энергия) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>• использует для описания характера протекания физических процессов физические законы (закон сохранения импульса, закон сохранения энергии в механике) с учётом границ их применимости;</li> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметные характеристики), используя физические величины (импульс, механическая работа,</li> </ul>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>потенциальная энергия деформированной пружины, потенциальная энергия поднятого груза, кинетическая энергия, теорема об изменении кинетической энергии.</p> <p>Закон сохранения энергии в механике: механическая энергия и закон сохранения энергии в механике, когда можно применять закон сохранения энергии в механике, примеры применения закона сохранения энергии в механике, изменение механической энергии вследствие трения скольжения.</p> <p>Лабораторная работа № 2 «Определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути».</p> <p>Лабораторная работа № 3 «Нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения».</p> <p>Движение жидкостей и газов: закон Бернулли (как опытный факт).</p> <p>Контрольная работа № 3 «Законы сохранения»</p>	<p>мощность, кинетическая и потенциальная энергия), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам</li> </ul>

<p><b>Статика и гидростатика (2 ч)</b></p> <p>Условия равновесия тела.          Центр тяжести. Виды равновесия.          Равновесие жидкости и газа</p>	<p>Условия равновесия тела: первое условие равновесия, условие равновесия тела, закреплённого на оси, второе условие равновесия.          Центр тяжести. Виды равновесия.          Равновесие жидкости и газа: зависимость давления жидкости от глубины; закон Архимеда, плавание тел, воздухоплавание</p>	<p>Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (сила, момент силы, плечо силы, давление) и демонстрирует взаимосвязь между ними;          • решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и применяет законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;          • использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач</p>
<p><b>МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА (15 ч)</b></p>		
<p><b>Молекулярная физика (9 ч)</b></p> <p>Строение вещества.          Изопроцессы.</p>	<p>Строение вещества: основные положения молекулярно-кинетической</p>	<p>Использует для описания характера протекания физических процессов</p>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
<p>Уравнение состояния идеального газа. Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул. Насыщенный пар. Влажность. Свойства жидкостей и твёрдых тел</p>	<p>теории, опытные подтверждения молекулярно-кинетической теории, броуновское движение, диффузия, основная задача молекулярно-кинетической теории, макроскопические и микроскопические параметры, количество вещества, закон Авогадро, моль, атомная единица массы, относительная атомная и молекулярная масса, молярная масса. Изопроцессы: изобарный процесс, абсолютная шкала температур, изохорный процесс, изотермический процесс. Лабораторная работа № 4 «Опытная проверка закона Бойля — Мариотта».</p> <p>Лабораторная работа № 5 «Опытная проверка закона Гей-Люссака».</p> <p>Уравнение состояния идеального газа: уравнение Клапейрона, уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона), закон Дальтона.</p>	<p>физические величины (количество вещества, атомная единица массы, относительная атомная и молекулярная масса, молярная масса, абсолютная температура, средняя кинетическая энергия молекул, скорость молекул, давление, объём, относительная влажность воздуха) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использует для описания характера протекания физических процессов физические законы (закон Авогадро, закон Дальтона) с учётом границ их применимости;</li> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера), используя модели, физические величины (количество вещества, атомная единица массы, относительная атомная и молекулярная масса, молярная масса, абсолютная температура, средняя кинетическая энергия молекул, скорость молекул, давление, давление,</li> </ul>

	<p>Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул: основное уравнение молекулярно-кинетической теории, связь между температурой и средней кинетической энергией молекул, скорости молекул.</p> <p>Насыщенный пар. Влажность: насыщенный и ненасыщенный пар, влажность воздуха, измерение влажности, точка росы.</p> <p>Свойства жидкостей и твёрдых тел: модель строения жидкостей, поверхностное натяжение</p>	<p>объём, относительная влажность воздуха), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предположенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам;</li> <li>• использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач;</li> </ul>
--	--	---

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• выдвигает гипотезы на основе знания основополагающих физических закономерностей и законов о протекании физических и химических процессов</li> </ul>
<b>Термодинамика (6 ч)</b>		
<p>Первый закон термодинамики.</p> <p>Применение первого закона термодинамики к газовым процессам.</p> <p>Тепловые двигатели.</p> <p>Второй закон термодинамики</p>	<p>Первый закон термодинамики: внутренняя энергия и способы её изменения, два способа изменения внутренней энергии тела, количество теплоты, как внутреннюю энергию частично превратить в механическую, первый закон термодинамики, адиабатный процесс, следствия первого закона термодинамики для изопроцессов.</p> <p>Применение первого закона термодинамики к газовым процессам: изменение внутренней энергии газа, работа газа.</p> <p>Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики: принцип действия</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (количество теплоты, внутренняя энергия, работа газа, КЭД), демонстрирует и анализирует взаимосвязь между ними;</li> <li>• использует для описания характера протекания физических процессов физические законы (первый и второй закон термодинамики) с учётом границ их применимости;</li> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера), используя модели, физические величины (количество теплоты, внутренняя энергия, работа газа, КЭД),</li> </ul>

	<p>и основные элементы теплового двигателя, коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя, второй закон термодинамики, энергетический и экологический кризисы.</p> <p>Контрольная работа № 4 «Молекулярная физика. Термодинамика»</p>	<p>выдвигает гипотезы и выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам;</li> <li>• использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач;</li> <li>• использует знания о физических объектах и процессах в повседнев-</li> </ul>
--	--	---

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
		<p>ной жизни для соблюдения норм экологического поведения в окружающей среде</p>
<b>ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК (14 ч)</b>		
<b>Электростатика (6 ч)</b>		
<p>Электрические взаимодействия. Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости. Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение). Энергия электрического поля</p>	<p>Электрические взаимодействия: два знака электрических зарядов, закон сохранения электрического заряда, электризация через влияние, перераспределение зарядов, единица электрического заряда, элементарный электрический заряд, закон Кулона. Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости, принцип суперпозиции полей. Проводники и диэлектрики в электрическом поле: проводники в электрическом поле, электростатическая защита, поляризация диэлектрика.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (электрический заряд, напряжённость, работа электрического поля, разность потенциалов, напряжение, ёмкость, энергия заряженного конденсатора) и демонстрирует взаимосвязь между ними, приводит примеры описанных процессов и явлений в технике;</li> <li>решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера), используя модели, физические законы (закон сохранения электрического заряда, закон Кулона),</li> </ul>

	<p>Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение): работа поля при перемещении заряда, разность потенциалов (напряжение), соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля, эквипотенциальные поверхности.</p> <p>Электроёмкость, энергия электрического поля, энергия заряженного конденсатора</p>	<p>выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам;</li> <li>• использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач</li> </ul>
--	---	---

Окончание таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
<p><b>Постоянный электрический ток (8 ч)</b></p> <p>Закон Ома для участка цепи.</p> <p>Работа и мощность тока.</p> <p>Закон Ома для полной цепи.</p> <p>Электрический ток в жидкостях и газах.</p> <p>Электрический ток в полупроводниках. Полупроводниковые приборы</p>	<p>Закон Ома для участка цепи; сила тока, действия электрического тока, закон Ома для участка цепи, удельное сопротивление, природа электрического сопротивления. Зависимость сопротивления от температуры, сверхпроводимость, последовательное и параллельное соединение проводников, измерение силы тока и напряжения.</p> <p>Работа и мощность тока: работа тока, закон Джоуля — Ленца, применение закона Джоуля — Ленца к последовательно и параллельно соединённым проводникам, мощность тока.</p> <p>Лабораторная работа № 6 «Мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении».</p> <p>Закон Ома для полной цепи: источник тока, электродвижущая сила источника тока, закон Ома для пол-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (сила тока, напряжение, сопротивление, работа и мощность тока) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>использует для описания характера протекания физических процессов физические законы (закон Ома для участка цепи, закон Джоуля — Ленца, закон Фарадея);</li> <li>решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): используя модели, физические величины (сила тока, напряжение, сопротивление, работа и мощность тока), выдвигает гипотезы, выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</li> <li>решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на ос-</li> </ul>

	<p>ной цепи, напряжение на полюсах источника, КПД источника тока. Лабораторная работа № 7 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока».</p> <p>Электрический ток в жидкостях и газах: электрический ток в электролитах, закон электролиза (закон Фарадея), применения электролиза, электрический ток в газах и вакууме, плазма.</p> <p>Электрический ток в полупроводниках. Полупроводниковые приборы: носители заряда в полупроводниках, зависимость сопротивления полупроводников от температуры и освещённости, примесная проводимость полупроводников.</p> <p>Контрольная работа № 5 «Электростатика. Постоянный ток»</p>	<p>нове анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам;</li> <li>• использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач;</li> <li>• использует знания о физических объектах и процессах в повседневной жизни для обеспечения безопасности при обращении с приборами и техническими устройствами</li> </ul>
<b>Резерв учебного времени<sup>1)</sup> (2 ч)</b>		

1) По усмотрению учителя часы резерва учебного времени можно использовать для проектно-исследовательской деятельности.

## Тематическое планирование 11 класс

(2 часа в неделю, всего 70 часов)

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося <sup>1)</sup>
<p><b>Магнитное поле (7 ч)</b></p> <p>Магнитные взаимодействия. Магнитное поле. Закон Ампера. Сила Лоренца</p>	<p>Магнитные взаимодействия. Магнитное поле: взаимодействие постоянных магнитов, взаимодействие проводников с током, магнитные свойства вещества, магнитное поле, вектор магнитной индукции, линии магнитной индукции, правило буравчика.</p> <p>Закон Ампера: модуль вектора магнитной индукции, закон Ампера, правило левой руки, рамка с током в магнитном поле, электроизмерительные приборы, электродвигатель.</p> <p>Абсолютная и относительная проницаемости.</p> <p>Лабораторная работа № 1 «Действие магнитного поля на проводник с током».</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (магнитная индукция, сила, сила тока, электрический заряд) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): использует модели, физические величины (магнитная индукция, сила, сила тока, электрический заряд), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</li> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, находит физические величины и законы,</li> </ul>

	Сила Лоренца: модуль и направление силы Лоренца, движение заряженной частицы в однородном магнитном поле	<p>необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, планирует и проводит физические эксперименты;</li> <li>использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач</li> </ul>
<b>Электромагнитная индукция (9 ч)</b>		
<p>Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции. Самоиндукция. Энергия магнитного поля</p>	<p>Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца: опыты Фарадея, магнитный поток, правило Ленца. Закон электромагнитной индукции: причины возникновения индукционного тока, сила Лоренца, вихревое электрическое поле, закон электромагнитной индукции, ЭДС индук-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (магнитная индукция, магнитный поток, индуктивность, ЭДС индукции, сила тока, сопротивление) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера</li> </ul>

1) Универсальные учебные действия отражены в Планируемых результатах освоения учебного предмета «Физика».

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащихся
	<p>ции, ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью.</p> <p>Лабораторная работа № 2 «Исследование явления электромагнитной индукции. Конструирование трансформатора».</p> <p>Лабораторная работа № 3 «Исследование вихревого электрического поля».</p> <p>Самондукция, энергия магнитного поля: явление самоиндукции, индуктивность, энергия магнитного поля контура с током.</p> <p>Контрольная работа № 1 «Магнитное поле. Электромагнитная индукция»</p>	<p>ра): использует модели, физические величины (магнитная индукция, магнитный поток, индуктивность, ЭДС индукции, сила тока, сопротивление), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физические величины и законы (закон электромагнитной индукции), необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученные результаты;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач</li> </ul>
<b>КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ (7 ч)</b>		
<b>Колебания (5 ч)</b>	<p>Свободные механические колебания: условия существования свободных колебаний, основные характеристики колебаний, гармонические колебания, уравнение гармонических колебаний, гармонические колебания и равномерное движение по окружности.</p> <p>Динамика механических колебаний: пружинный маятник, математический маятник, соотношение между смещением, скоростью и ускорением тела при гармонических колебаниях.</p> <p>Лабораторная работа № 4 «Изучение колебаний пружинного маятника».</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (амплитуда, период, частота, скорость, ускорение, сила, энергия, индуктивность, электроёмкость) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): использует модели, физические величины (амплитуда, период, частота, скорость, ускорение, сила, энергия), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</li> </ul>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>Энергия механических колебаний: вынужденные колебания; превращения энергии при свободных гармонических колебаниях, затухающие колебания, вынужденные колебания, резонанс.</p> <p>Колебательный контур: свободные электромагнитные колебания, аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями.</p> <p>Переменный электрический ток: индукционный генератор электрического тока, производство, передача и потребление электроэнергии, трансформатор</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, применяет физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам</li> </ul>
<p><b>Волны (2 ч)</b></p> <p>Механические волны. Звук. Электромагнитные волны.</p>	<p>Механические волны. Звук: механические волны, продольные и поперечные волны, основные характеристики волн, скорость волн, энергия волн, Интерференция и дифракция волн, звук, высота</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (скорость, период, частота, длина волны) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера)</li> </ul>

<p>Передача информации с помощью электромагнитных волн</p>	<p>и громкость звука, ультразвук и инфразвук.          Электромагнитные волны: предсказание и открытие электромагнитных волн, теория Максвелла, опыт Герца, свойства электромагнитных волн, давление света, шкала электромагнитных волн, передача информации с помощью электромагнитных волн, изобретение радио, принципы радиосвязи, современные средства связи, мобильная связь, Интернет</p>	<p>ра): использует модели, физические величины (скорость, период, частота, длина волны), выстраивает логическую цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, использует физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат</li> </ul>
<p><b>ОПТИКА (18 ч)</b></p>		
<p><b>Геометрическая оптика (9 ч)</b></p>		
<p>Законы геометрической оптики.</p>	<p>Законы геометрической оптики: лучи света и точечный источник света, прямолинейное распространение света, отражение света, преломление света, полное внутреннее отражение.          Лабораторная работа № 5 «Исследование преломления света на границах раздела «воздух — стекло» и «стекло — воздух».</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (угол падения, угол отражения, фокусное расстояние, оптическая сила линзы, увеличение линзы) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): использует модели (световой луч),</li> </ul>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
<p>Линзы. Построение изображений в линзах.</p> <p>Глаз и оптические приборы</p>	<p>Линзы. Построение изображений в линзах: виды линз, основные элементы линзы, фокусы линзы, изображения в линзах, построение изображений в линзах, увеличение линзы, формула тонкой линзы.</p> <p>Глаз и оптические приборы: глаз и его строение, недостатки зрения и их исправление, фотоаппарат и видеокамера, киноаппарат и проектор</p>	<p>физические величины (угол падения, угол отражения, фокусное расстояние, оптическая сила линзы, увеличение линзы), законы (закон прямолинейного распространения света, законы отражения и преломления света), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, применяет физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>использует информацию и применяет знания о принципах работы и основных характеристиках изученных машин, приборов и других технических устройств для решения практических, учебно-исследовательских и проектных задач</li> </ul>
<p><b>Волновая оптика (9 ч)</b></p> <p>Интерференция волн. Дифракция волн. Дисперсия. Поляризация. Принцип Гюйгенса — Френеля</p>	<p>Интерференция волн: корпускулярная теория света, волновая теория света, интерференция волн на поверхности воды, когерентность, условия интерференционных максимумов и минимумов, интерференция света, кольца Ньютона. Дифракция волн: дифракция механических волн, дифракция света, опыт Юнга с двумя щелями, изменение длины волн света, дифракционная решётка, разрешающая способность оптических приборов. Лабораторная работа № 6 «Наблюдение интерференции и дифракции света». Лабораторная работа № 7 «Определение длины световой волны с помощью дифракционной решётки».</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Использует для описания характера протекания физических процессов физические величины (длина волны, период, частота) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</li> <li>решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): использует модели, физические величины (длина волны, период, частота), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</li> <li>решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, применяет физические величины и законы, необходимые и достаточные для её</li> </ul>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>Дисперсия. Поляризация. Принцип Гюйгенса — Френеля: дисперсия света, спектроскоп, окраска предметов, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, поляризация света, применения поляризации. Контрольная работа № 2 «Оптика»</p>	<p>решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам</li> </ul>
<b>ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (2 ч)</b>		
<p>Основные положения частной теории относительности. Энергия тела. Энергия покоя</p>	<p>Постулаты частной теории относительности, относительность одновременности. Энергия тела, энергия покоя, скорость света — предельная скорость; отменяет ли теория относительности классическую механику?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): использует модели, физические величины (энергия тела, энергия покоя, скорость света), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления)</li> </ul>
<b>КВАНТОВАЯ ФИЗИКА (16 ч)</b>		
<b>Кванты и атомы (7 ч)</b>		
<p>Фотоэффект. Фотоны.</p>	<p>Фотоэффект: гипотеза Планка, явление фотоэффекта, законы фото-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использует для описания характера протекания физических процессов</li> </ul>

Строение атома. Атомные спектры	<p>эффекта, теория фотоэффекта, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, фотоны, применение фотоэффекта. Строение атома: опыт Резерфорда, планетарная модель атома, теория атома Бора, спектры излучения и поглощения, спектральный анализ, энергетические уровни, объяснение линейчатого спектра водорода на основе квантовых постулатов Бора, спонтанное и вынужденное излучение, лазеры, корпускулярно-волновой дуализм.</p> <p>Лабораторная работа № 81) «Изучение спектра водорода по фотографии»</p>	<p>физические величины (частота, длина волны, энергия, работа выхода) и демонстрирует взаимосвязь между ними;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): использует модели, физические величины (частота, длина волны, энергия, работа), выстраивает логическую верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</li> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, использует физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат</li> </ul>
<b>Атомное ядро и элементарные частицы (9 ч)</b>		
Атомное ядро. Радиоактивность.	Атомное ядро, радиоактивность: строение атомного ядра, открытие протона и нейтрона, протонно-нейтронная модель ядра, ядерные силы,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Описывает характер протекания физических процессов;</li> <li>• решает качественные задачи: использует модели (протонно-нейтронная</li> </ul>

1) Данную работу учитель может рекомендовать обучающимся выполнять дома.

Окончание таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
<p>Ядерные реакции. Ядерная энергетика. Мир элементарных частиц</p>	<p>открытые радиоактивности, изотопы, радиоактивные превращения, правило смещения при <math>\alpha</math>-распаде, правило смещения при <math>\beta</math>-распаде, <math>\gamma</math>-излучение, закон радиоактивного распада.</p> <p>Ядерные реакции. Ядерная энергетика: ядерные реакции, энергия связи атомных ядер, реакции синтеза и деления ядер, цепные реакции деления, ядерный реактор, принцип действия атомной электростанции, ядерная энергетика, влияние радиации на живые организмы. Мир элементарных частиц: классификация элементарных частиц, фундаментальные частицы и фундаментальные взаимодействия, методы регистрации и исследования элементарных частиц.</p> <p>Лабораторная работа № 9 1) «Изучение треков заряженных частиц по фотографиям».</p> <p>Контрольная работа № 3 «Квантовая физика»</p>	<p>модель ядра), физические величины (энергия, скорость света, масса), выстраивает логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решает расчётные задачи с явно заданной физической моделью: на основе анализа условия задачи выделяет физическую модель, применяет физические величины и законы, необходимые и достаточные для её решения, проводит расчёты и проверяет полученный результат;</li> <li>• проводит прямые и косвенные измерения физических величин, с учётом необходимой точности измерений, планирует ход измерений, получает значение измеряемой величины и оценивает относительную погрешность по заданным формулам</li> </ul>

<b>АСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА (8 ч)</b>	
<b>Солнечная система (3 ч)</b>	<p>Солнце: источник энергии Солнца, строение Солнца.            Планеты и другие тела Солнечной системы: планеты земной группы, планеты-гиганты, малые тела Солнечной системы, происхождение Солнечной системы</p>
<b>Звёзды и галактики (5 ч)</b>	<p>Звёзды: главная последовательность, красные гиганты и белые карлики, эволюция звёзд, нейтронные звёзды, новые и сверхновые, чёрные дыры, происхождение химических элементов.            Галактики: Млечный Путь, другие галактики, расширение Вселенной, Большой Взрыв, тёмная энергия и тёмная материя</p>
<b>Резерв учебного времени<sup>2)</sup> (3 ч)</b>	<p>• Демонстрирует на примерах взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;            • устанавливает взаимосвязь естественнонаучных явлений, применяет основные физические модели для их описания и объяснения</p> <p>• Демонстрирует на примерах взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;            • устанавливает взаимосвязь естественнонаучных явлений, применяет основные физические модели для их описания и объяснения</p>

1) Данную работу учитель может рекомендовать обучающимся выполнить дома.

2) По усмотрению учителя часы резерва учебного времени можно использовать для проектно-исследовательской деятельности.

**Содержание учебного предмета,  
планируемые предметные результаты  
освоения учебного предмета «Физика»  
и тематическое планирование  
(углублённый уровень)**

**Содержание учебного предмета**

**Физика и естественнонаучный метод познания природы  
(2 ч)**

Физика — фундаментальная наука о природе. Научный метод познания мира. Взаимосвязь между физикой и другими естественными науками. Методы научного исследования физических явлений. Погрешности измерений физических величин. Моделирование явлений и процессов природы. Закономерность и случайность. Границы применимости физического закона. Физические теории и принцип соответствия. Роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в практической деятельности людей. Физика и культура.

**Механика (86 ч)**

Предмет и задачи классической механики. Кинематические характеристики механического движения. Модели тел и движений.

Равноускоренное прямолинейное движение, свободное падение. Движение точки по окружности. Поступательное и вращательное движение твёрдого тела. Взаимодействие тел. Принцип суперпозиции сил. Инерциальная система отсчёта. Законы механики Ньютона. Законы всемирного тяготения, Гука, сухого трения. Движение небесных тел и их искусственных спутников. Явления, наблюдаемые в неинерциальных системах отсчёта.

Импульс материальной точки и системы тел. Закон изменения и сохранения импульса. Работа силы. Механическая энергия материальной точки и системы. Закон изменения и сохранения механической энергии.

Равновесие материальной точки и твёрдого тела. Условия равновесия твёрдого тела в инерциальной системе отсчёта. Момент силы. Равновесие жидкости и газа. Давление. Движение жидкостей и газов.

Механические колебания и волны. Амплитуда, период, частота, фаза колебаний. Превращения энергии при колебаниях. Вынужденные колебания, резонанс.

Поперечные и продольные волны. Энергия волны. Интерференция и дифракция волн. Звуковые волны.

**Лабораторные работы:**

- изучение движения тела, брошенного горизонтально;
- измерение жёсткости пружины;
- измерение коэффициента трения с помощью наклонной плоскости. Конструирование наклонной плоскости с заданным КПД;
- определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути;
- нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения;
- изучение колебаний пружинного маятника.

**Молекулярная физика и термодинамика (34 ч)**

Предмет и задачи молекулярно-кинетической теории (МКТ) и термодинамики.

Экспериментальные доказательства МКТ. Абсолютная температура как мера средней кинетической энергии теплового движения частиц вещества. Модель идеального газа. Давление газа. Связь между давлением и средней кинетической энергией поступательного теплового движения молекул идеального газа.

Модель идеального газа в термодинамике, уравнение Менделеева — Клапейрона, выражение для внутренней энергии. Закон Дальтона. Газовые законы.

Агрегатные состояния вещества. Фазовые переходы. Преобразование энергии в фазовых переходах. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха. Модель строения жидкостей. Поверхностное натяжение. Модель строения твёрдых тел. Механические свойства твёрдых тел.

Внутренняя энергия. Работа и теплопередача как способы изменения внутренней энергии. Первый закон термодинамики. Адиабатный процесс. Второй закон термодинамики.

Преобразования энергии в тепловых машинах. КПД тепловой машины. Цикл Карно. Экологические проблемы теплоэнергетики.

**Лабораторные работы:**

- опытная проверка закона Бойля — Мариотта;
- опытная проверка закона Гей-Люссака;
- исследование скорости остывания воды;

- измерение модуля Юнга;
- измерение удельной теплоты плавления льда.

### **Электродинамика (99 ч)**

Предмет и задачи электродинамики. Электрическое взаимодействие. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Напряжённость и потенциал электростатического поля. Принцип суперпозиции электрических полей. Разность потенциалов. Проводники и диэлектрики в электростатическом поле. Электрическая ёмкость. Конденсатор. Энергия электрического поля.

Постоянный электрический ток. Электродвижущая сила (ЭДС). Закон Ома для полной электрической цепи. Электрический ток в металлах, электролитах, полупроводниках, газах и вакууме. Плазма. Электролиз. Полупроводниковые приборы. Сверхпроводимость.

Магнитное поле. Вектор магнитной индукции. Принцип суперпозиции магнитных полей. Магнитное поле проводника с током. Действие магнитного поля на проводник с током и движущуюся заряженную частицу. Сила Ампера и сила Лоренца.

Поток вектора магнитной индукции. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции в движущихся проводниках. Правило Ленца. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия электромагнитного поля. Магнитные свойства вещества.

Электромагнитные колебания. Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания. Вынужденные электромагнитные колебания. Резонанс. Переменный ток. Конденсатор и катушка в цепи переменного тока. Производство, передача и потребление электрической энергии. Элементарная теория трансформатора.

Электромагнитное поле. Вихревое электрическое поле. Электромагнитные волны. Свойства электромагнитных волн. Диапазоны электромагнитных излучений и их практическое применение. Принципы радиосвязи и телевидения.

Геометрическая оптика. Прямолинейное распространение света в однородной среде. Законы отражения и преломления света. Полное внутреннее отражение. Оптические приборы.

Волновые свойства света. Скорость света. Интерференция света. Когерентность. Дифракция света. Поляризация света. Дисперсия света. Практическое применение электромагнитных излучений.

Инвариантность модуля скорости света в вакууме. Принцип относительности Эйнштейна. Пространство и время в специальной теории относительности. Энергия и импульс свободной частицы. Связь массы и энергии свободной частицы. Энергия покоя.

**Лабораторные работы:**

- исследование вольт-амперной характеристики лампы накаливания;
- мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении;
- определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока;
- действие магнитного поля на проводник с током;
- исследование явления электромагнитной индукции. Конструирование трансформатора;
- исследование вихревого электрического поля;
- исследование преломления света на границах раздела «воздух — стекло» и «стекло — воздух»;
- наблюдение интерференции и дифракции света;
- определение длины световой волны с помощью дифракционной решётки.

**Квантовая физика. Физика атома и атомного ядра (22 ч)**

Предмет и задачи квантовой физики.

Тепловое излучение. Распределение энергии в спектре абсолютно чёрного тела.

Гипотеза М. Планка о квантах. Фотоэффект. Опыты А. Г. Столетова, законы фотоэффекта. Уравнение А. Эйнштейна для фотоэффекта.

Фотон. Опыты П. Н. Лебедева и С. И. Вавилова. Гипотеза де Бройля о волновых свойствах частиц. Корпускулярно-волновой дуализм. Дифракция электронов. Давление света. Соотношение неопределённостей Гейзенберга.

Модели строения атома. Объяснение линейчатого спектра водорода на основе квантовых постулатов Бора. Спонтанное и вынужденное излучение света.

Состав и строение атомного ядра. Изотопы. Ядерные силы. Дефект массы и энергия связи ядра.

Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции, реакции деления и синтеза. Цепная реакция деления ядер. Ядерная энергетика. Термоядерный синтез.

Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия. Ускорители элементарных частиц.

**Лабораторные работы:**

- изучение спектра водорода по фотографии;
- изучение треков заряженных частиц по фотографии.

**Строение Вселенной (8 ч)**

Применимость законов физики для объяснения природы космических объектов. Солнечная система. Звёзды и источники их энергии. Классификация звёзд. Эволюция Солнца и звёзд.

Галактика. Другие галактики. Пространственно-временные масштабы наблюдаемой Вселенной. Представление об эволюции Вселенной. Тёмная материя и тёмная энергия.

**Физический практикум (30 ч)****Итоговое повторение, подготовка к ЕГЭ (45 ч)****Резерв учебного времени (24 ч)****Планируемые предметные результаты изучения****Выпускник *научится*:**

- объяснять и анализировать роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологий, в практической деятельности людей, характеризовать взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;
- характеризовать системную связь между понятиями: пространство, время, материя (вещество, поле), движение, сила, энергия;
- понимать и объяснять целостность физической теории, различать границы её применимости и место в ряду других физических теорий;
- владеть приёмами построения теоретических доказательств, прогнозирования особенностей протекания физических явлений и процессов на основе полученных теоретических выводов и доказательств;
- выдвигать гипотезы на основе знания основополагающих физических закономерностей и законов;
- самостоятельно конструировать экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, планировать и проводить физические эксперименты, рассчитывать абсолютную и относительную погрешности;
- объяснять границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач, решать практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи;

- объяснять условия применения физических моделей при решении физических задач, находить адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешать проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки.
- характеризовать глобальные проблемы, стоящие перед человечеством: энергетические, сырьевые, экологические и роль физики в решении этих проблем;
- объяснять принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств.

**Выпускник получит возможность научиться:**

- проверять экспериментальными средствами выдвинутые гипотезы, формулируя цель исследования, на основе знания основополагающих физических закономерностей и законов, описывать и анализировать полученную в результате экспериментов информацию, определять её достоверность;
- совершенствовать приборы и методы исследования в соответствии с поставленной задачей;
- использовать методы математического моделирования, в том числе простейшие статистические методы, для обработки результатов эксперимента;
- понимать и объяснять системную связь между основополагающими научными понятиями: пространство, время, материя (вещество, поле), движение, сила, энергия;
- решать экспериментальные, качественные и количественные задачи олимпиадного уровня сложности, используя физические законы, а также уравнения, связывающие физические величины;
- анализировать границы применимости физических законов, понимать всеобщий характер фундаментальных законов и ограниченность использования частных законов;
- формулировать и решать новые задачи, возникающие в ходе учебно-исследовательской и проектной деятельности.

## Тематическое планирование 10 класс

(5 часов в неделю, всего 175 часов)

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося <sup>1)</sup>
<b>ФИЗИКА И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ ПРИРОДЫ (2 ч)</b>		
Физика — фундаментальная наука о природе	<p>Научный метод познания мира. Взаимосвязь между физикой и другими естественными науками. Методы научного исследования физических явлений. Моделирование явлений и процессов природы. Границы применимости физического закона. Физические теории и принцип соответствия. Роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в практической деятельности людей. Погрешности измерений физических величин, Закономерность и случайность</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Объясняет и анализирует роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологий, в практической деятельности людей;</li> <li>• характеризует взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;</li> <li>• характеризует системную связь между основополагающими научными понятиями: пространство, время, материя (вещество, поле), движение, сила, энергия</li> </ul>
<b>МЕХАНИКА (78 ч)</b>		
<b>Кинематика (24 ч)</b>		
Предмет и задачи классической механики.	Система отсчёта, материальная точка, траектория, путь и перемещение.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические</li> </ul>

<p>Границы применимости классической механики. Система отсчёта, траектория, путь и перемещение.</p> <p>Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей.</p> <p>Прямолинейное равноускоренное движение. Сложение скоростей.</p> <p>Прямолинейное равноускоренное движение. Сложение скоростей.</p> <p>Свободное падение, движение тела, брошенного под углом к горизонту.</p> <p>Равномерное движение по окружности</p>	<p>Прямолинейное равномерное движение: скорость, график зависимости координаты тела от времени, средняя скорость, сложение скоростей при движении вдоль одной прямой.</p> <p>Прямолинейное равноускоренное движение: зависимость скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении, график зависимости скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении, перемещение при прямолинейном равноускоренном движении, тормозной путь.</p> <p>Свободное падение тела, движение тела, брошенного вертикально вверх, горизонтально, под углом к горизонту.</p> <p>Абсолютная и относительная погрешности.</p> <p>Лабораторная работа № 1 «Изучение движения тела, брошенного горизонтально».</p> <p>Равномерное движение по окружности: направление скорости тела при движении по окружности, ускорение тела при равномерном движении</p>	<p>ские задачи с опорой на известные физические законы, закономерности и модели (материальная точка);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему, как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности;</li> <li>• анализирует границы применимости физических законов, понимает всеобщий характер фундаментальных законов и ограниченность использования частных законов</li> </ul>
---	--	---

1) Универсальные учебные действия отражены в Планируемых результатах освоения учебного предмета «Физика».

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	по окружности, частота обращения и угловая скорость, конический маятник, поступательное и вращательное движение твёрдого тела. Контрольная работа № 1 «Кинематика»	
<b>Динамика (27 ч)</b>		
<p>Три закона Ньютона. Силы тяготения. Силы упругости. Силы трения. Движение тела под действием нескольких сил. Тело на наклонной плоскости. Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил. Движение системы тел</p>	<p>Три закона Ньютона: закон инерции — первый закон Ньютона, принцип относительности Галилея, явления, наблюдаемые в неинерциальных системах отсчёта, второй закон Ньютона, масса тела, единица силы, силы в механике, третий закон Ньютона, графики зависимости скорости тела от времени и равнодействующая, движение тела под действием сил, направленных под углом друг к другу. Силы тяготения: закон всемирного тяготения, условия применимости формулы закона всемирного тяготения, движение планет вокруг Солнца,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (законы Ньютона, закон всемирного тяготения, закон Гука), закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</li> </ul>

	<p>сила тяжести и закон всемирного тяготения, первая космическая скорость, как измерили гравитационную постоянную, третий закон Кеплера, задачи о средней плотности планеты, геостационарная орбита.</p> <p>Силы упругости: силы упругости и деформация тел, закон Гука, примеры сил упругости, вес тела, движущегося с ускорением, удлинение и длина пружины, последовательное соединение пружин, параллельное соединение пружин, применение закона Гука для движения тела с ускорением.</p> <p>Лабораторная работа № 2 «Измерение жёсткости пружины».</p> <p>Силы трения: сила трения скольжения, сила трения покоя, другие виды сил трения.</p> <p>Движение по горизонтали под действием силы, направленной под углом к горизонту.</p> <p>Тело на наклонной плоскости: тело на гладкой наклонной плоскости, условие покоя тела на шероховатой наклонной плоскости, движение вверх по наклонной плоскости,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности;</li> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>
--	--	--

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>уменьшение скорости тела при движении по наклонной плоскости вниз. Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил: поворот транспорта, конический маятник, поворот на наклонной дороге, движение по окружности в полусфере и в конусе.</p> <p>Движение системы тел: тела движутся в одном направлении, тела движутся в разных направлениях, система с двумя блоками, движение системы тел при наличии наклонной плоскости и блока, движение системы тел с учётом трения.</p> <p>Контрольная работа № 2 «Динамика»</p>	
<p><b>Законы сохранения в механике (21 ч)</b></p> <p>Импульс. Закон сохранения импульса, условия применения закона сохранения импульса.</p>	<p>Импульс. Закон сохранения импульса: импульс, импульс силы, закон сохранения импульса, условия применения закона сохранения</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (закон сохра-</li> </ul>

<p>Реактивное движение. Освоение космоса. Механическая работа. Мощность. Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия. Закон сохранения энергии в механике. Движение жидкостей и газов. Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости.</p>	<p>импульса, изменение импульса при движении по окружности, изменение импульса тела, движущегося под действием силы тяжести, изменение импульса тела и импульс равнодействующей приложенных к телу сил, использование закона сохранения импульса при столкновении тел, применение закона сохранения импульса к движению системы тел. Реактивное движение. Освоение космоса: реактивное движение, развитие ракетостроения, освоение космоса, современное состояние космических исследований.</p>	<p>нения импульса, закон сохранения энергии в механике), закономерности и модели; • объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки; • объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач; • самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности; • объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</p>
<p>Применение законов сохранения в механике к движению системы тел</p>	<p>Механическая работа. Мощность: определение работы, работа силы тяжести, работа силы упругости, работа силы трения, мощность, применение закона сохранения энергии в механике к подвешенному на пружине грузу, работа равнодействующей нескольких сил, работа по подъёму цепи, работа при подъёме тела на пружине. Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия: связь энергии и работы, потенциальная энергия,</p>	

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>потенциальная энергия деформированной пружины, потенциальная энергия поднятого груза, кинетическая энергия, теорема об изменении кинетической энергии, применение теоремы об изменении кинетической энергии при движении по криволинейной траектории и по наклонной плоскости, применение теоремы об изменении кинетической энергии при наличии выталкивающей силы. Закон сохранения энергии в механике: механическая энергия и закон сохранения энергии в механике, когда можно применять закон сохранения энергии в механике, примеры применения закона сохранения энергии в механике, изменение механической энергии вследствие трения скольжения, применение закона сохранения энергии к неравномерному движению по окружности, применение закона сохранения энергии к движению тела под действием нескольких сил.</p>	

	<p>Лабораторная работа № 3 «Измерение коэффициента трения с помощью наклонной плоскости. Конструирование наклонной плоскости с заданным КПД».</p> <p>Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости: нормальное и тангенциальное ускорение, движение груза, подвешенного на нити, движение по «мёртвой петле», соскальзывание с полусферы. Применение законов сохранения в механике к движению системы тел: разрыв снаряда в полёте, баллистический маятник, гладкая горка и шайба.</p> <p>Лабораторная работа № 4 «Определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути».</p> <p>Лабораторная работа № 5 «Нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения».</p> <p>Движение жидкостей и газов: закон Бернулли (как опытный факт). Контрольная работа № 3 «Законы сохранения»</p>
--	--

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
<p><b>Статика и гидростатика (6 ч)</b></p> <p>Условия равновесия тела.            Центр тяжести. Виды равновесия.            Равновесие жидкости и газа</p>	<p>Условия равновесия тела: первое условие равновесия, условие равновесия тела, закреплённого на оси, второе условие равновесия, применение условий равновесия тела к лёгкому стержню.            Центр тяжести. Виды равновесия, центр тяжести системы нескольких материальных точек, применение условий равновесия тела к однородному стержню.            Равновесие жидкости и газа: зависимость давления жидкости от глубины; закон Архимеда, плавание тел, воздухоплавание</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</li> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и междисциплинарных задач</li> </ul>
<b>МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА (34 ч)</b>		
<p><b>Молекулярная физика (19 ч)</b></p> <p>Строение вещества.            Изопроцессы.</p>	<p>Строение вещества: основные положения молекулярно-кинетической</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические</li> </ul>

<p>Уравнение состояния идеального газа. Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул. Насыщенный пар. Влажность. Свойства жидкостей и твёрдых тел</p>	<p>теории, опытные подтверждения молекулярно-кинетической теории, броуновское движение, диффузия, основная задача молекулярно-кинетической теории, макроскопические и микроскопические параметры, количество вещества, закон Авогадро, моль, атомная единица массы, относительная атомная и молекулярная масса, молярная масса. Изопроцессы: изобарный процесс, абсолютная шкала температур, изохорный процесс, изотермический процесс, не изопроецессы. Лабораторная работа № 6 «Опытная проверка закона Бойля — Мариотта». Лабораторная работа № 7 «Опытная проверка закона Гей-Люссака». Уравнение состояния идеального газа: уравнение Клапейрона, уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона), закон Дальтона. Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул: основное уравнение молекулярно-кинетической теории, связь между температурами и средней кинетической энергией молекул, скорости молекул,</p>	<p>ские задачи с опорой на известные физические законы (закон Авогадро, закон Бойля — Мариотта, закон Гей-Люссака, закон Шарля, закон Дальтона), закономерности и модели (идеальный газ);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки; объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности;</li> <li>• характеризует глобальные проблемы, стоящие перед человечеством: энергетические, сырьевые, экологические и роль физики в решении этих проблем</li> </ul>
--	---	--

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории.            Насыщенный пар. Влажность: насыщенный и ненасыщенный пар, зависимость давления насыщенного пара от температуры, кипение, влажность воздуха, измерение влажности, точка росы.            Лабораторная работа № 8 «Исследование скорости остывания воды».            Свойства жидкостей и твёрдых тел: модель строения жидкостей, поверхностное натяжение, модель строения твёрдых тел, механические свойства твёрдых тел.            Лабораторная работа № 9 «Измерение модуля Юнга».            Контрольная работа № 4 «Молекулярная физика»</p>	
<p><b>Термодинамика (15 ч)</b>             Первый закон термодинамики.</p>	<p>Первый закон термодинамики: внутренняя энергия и способы её изменения, два способа изменения вну-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные</li> </ul>

<p>Применение первого закона термодинамики к газовым процессам. Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики. Фазовые переходы</p>	<p>тренней энергии тела, количество теплоты, как внутреннюю энергию частично превратить в механическую, первый закон термодинамики, адiabатный процесс, следствия первого закона термодинамики для изопроцессов. Применение первого закона термодинамики к газовым процессам: изменение внутренней энергии газа, работа газа, циклические процессы. Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики: принцип действия и основные элементы теплового двигателя, коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя, второй закон термодинамики, принцип расчёта КПД цикла, энергетический и экологический кризисы. Фазовые переходы: плавление и кристаллизация, парообразование и конденсация, уравнение теплового баланса при наличии фазовых переходов. Лабораторная работа № 10 «Изменение удельной теплоты плавления льда». Контрольная работа № 5 «Термодинамика»</p>	<p>физические законы (первый закон термодинамики), закономерности и модели; • объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки; • объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач; • самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности; • характеризует глобальные проблемы, стоящие перед человечеством: энергетические, сырьевые, экологические и роль физики в решении этих проблем; • объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</p>
--	---	--

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
<b>ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК (36 ч)</b>		
<b>Электростатика (18 ч)</b>		
<p>Электрические взаимодействия.</p> <p>Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости.</p> <p>Проводники и диэлектрики в электрическом поле.</p> <p>Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение). Энергетическая ёмкость. Энергия электрического поля</p>	<p>Электрические взаимодействия: два знака электрических зарядов, закон сохранения электрического заряда, электризация через влияние, перераспределение зарядов, единица электрического заряда, элементарный электрический заряд, закон Кулона.</p> <p>Напряжённость электрического поля: линии напряжённости, принцип суперпозиции полей, поле равномерно заряженной сферы.</p> <p>Проводники и диэлектрики в электрическом поле: проводники в электрическом поле, электростатическая защита, поляризация диэлектрика, равновесие подвешенных на нитях заряженных шариков в воздухе и в жидком диэлектрике.</p> <p>Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение):</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (закон сохранения электрического заряда, закон Кулона), закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</li> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и междисциплинарных задач;</li> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>

	<p>работа поля при перемещении заряда, разность потенциалов (напряжение), соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля, эквипотенциальные поверхности, движение заряженной частицы в однородном электрическом поле.          Электроёмкость, энергия электрического поля, энергия заряженного конденсатора, движение заряженной частицы в конденсаторе.          Контрольная работа № 6 «Электростатика»</p>	
<b>Постоянный электрический ток (18 ч)</b>		
<p>Закон Ома для участка цепи.          Работа и мощность тока.          Закон Ома для полной цепи.          Электрический ток в жидкостях и газах.          Электрический ток в полупроводниках. Полупроводниковые приборы.          Расчёт более сложных электрических цепей</p>	<p>Закон Ома для участка цепи: сила тока, действия электрического тока, закон Ома для участка цепи, удельное сопротивление, природа электрического сопротивления. Зависимость сопротивления от температуры, сверхпроводимость, последовательное и параллельное соединение проводников, измерение силы тока и напряжения.          Лабораторная работа № 11 «Исследование вольт-амперной характеристики лампы накаливания».</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (закон Ома для участка цепи, закон Ома для полной цепи, закон Джоуля — Ленца, закон Фарадея), закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему</li> </ul>

Окончание таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>Работа и мощность тока: работа тока, закон Джоуля — Ленца, применение закона Джоуля — Ленца к последовательно и параллельно соединённым проводникам, мощность тока.</p> <p>Лабораторная работа № 12 «Мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении».</p> <p>Закон Ома для полной цепи: источник тока, электродвижущая сила источника тока, закон Ома для полной цепи, напряжение на полюсах источника, КПД источника тока.</p> <p>Расчёт более сложных электрических цепей: метод эквивалентного преобразования электрических схем, использование точек с равным потенциалом, максимальная мощность во внешней цепи, конденсаторы в цепи постоянного тока.</p> <p>Лабораторная работа № 13 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока».</p>	<p>как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности;</li> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>

	<p>Электрический ток в жидкостях и газах: электрический ток в электролитах, закон электролиза (закон Фарадея), применения электролиза, электрический ток в газах и вакууме, плазма.</p> <p>Электрический ток в полупроводниках. Полупроводниковые приборы: носители заряда в полупроводниках, зависимость сопротивления полупроводников от температуры и освещённости, примесная проводимость полупроводников, полупроводниковый диод, транзистор.</p> <p>Контрольная работа № 7 «Постоянный ток»</p>	
<p><b>Физический практикум <sup>1)</sup> (15 ч)</b>  <b>Резерв учебного времени <sup>2)</sup> (10 ч)</b></p>		

- 1) Работы физического практикума выбираются по усмотрению учителя и должны включать прямые и косвенные измерения, наблюдение явлений, исследование явлений, проверку гипотез (в том числе неверных), а также конструирование технических устройств.
- 2) По усмотрению учителя часы резерва учебного времени можно использовать для проектно-исследовательской деятельности.

## Тематическое планирование 11 класс

(5 часов в неделю, всего 175 часов)

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося 1)
<p><b>Магнитное поле (10 ч)</b></p> <p>Магнитные взаимодействия. Магнитное поле. Магнитное поле. Закон Ампера. Сила Лоренца</p>	<p>Магнитные взаимодействия. Магнитное поле: взаимодействие постоянных магнитов, взаимодействие проводников с током, магнитные свойства вещества, магнитное поле, вектор магнитной индукции, линии магнитной индукции, правило буравчика.</p> <p>Закон Ампера: модуль вектора магнитной индукции, закон Ампера, правило левой руки, направление силы Ампера в случае, когда проводник с током перпендикулярен вектору магнитной индукции, направление силы Ампера в общем случае, рамка с током в магнитном поле, электроизмерительные приборы, электродвигатель.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (закон Ампера), закономерности и модели, а также уравнения, связывающие физические величины;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез,</li> </ul>

	<p>Применения закона Ампера: стержень на горизонтальных направляющих, стержень на наклонных направляющих, полный оборот стержня, подвешенного на проводах, гибкий проводник с током вблизи полюсового магнита.</p> <p>Абсолютная и относительная погрешности.</p> <p>Лабораторная работа № 1 «Действие магнитного поля на проводник с током».</p> <p>Сила Лоренца: модуль и направление силы Лоренца, движение заряженной частицы в однородном магнитном поле, «фильм скоростей»</p>	<p>рассчитывает абсолютную и относительную погрешности;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>
<b>Электромагнитная индукция (14 ч)</b>		
<p>Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца.</p> <p>Закон электромагнитной индукции.</p>	<p>Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца: опыты Фарадея, магнитный поток, правило Ленца.</p> <p>Закон электромагнитной индукции: причины возникновения индукцион-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (закон электромагнитной индукции), закономерности и модели, а также уравне-</li> </ul>

1) Универсальные учебные действия отражены в Планируемых результатах освоения учебного предмета «Физика».

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
Самоиндукция. Энергия магнитного поля	<p>ного тока, сила Лоренца, вихревое электрическое поле, закон электромагнитной индукции, ЭДС индукции, заряд, прошедший через контур при изменении магнитного потока, ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью, движение проводника под действием силы тяжести и силы Ампера.</p> <p>Лабораторная работа № 2 «Исследование явления электромагнитной индукции. Конструирование трансформатора».</p> <p>Лабораторная работа № 3 «Исследование вихревого электрического поля».</p> <p>Самоиндукция, энергия магнитного поля: явление самоиндукции, индуктивность, энергия магнитного поля контура с током, количество теплоты, выделившееся при размыкании цепи.</p> <p>Контрольная работа № 1 «Магнитное поле. Электромагнитная индукция»</p>	<p>нения, связывающие физические величины;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</li> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности;</li> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>

<b>КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ (14 ч)</b>	
<b>Колебания (10 ч)</b>	
<p>Свободные механические колебания. Динамика механических колебаний. Энергия механических колебаний. Вынужденные колебания. Колебательный контур. Переменный электрический ток</p>	<p>Свободные механические колебания: условия существования свободных колебаний, основные характеристики колебаний, гармонические колебания, уравнение гармонических колебаний, фаза колебаний, гармонические колебания и равномерное движение по окружности. Динамика механических колебаний: пружинный маятник, математический маятник, вывод формул для периода и частоты колебаний математического маятника, соотношение между смещением, скоростью и ускорением тела при гармонических колебаниях. Лабораторная работа № 4 «Изучение колебаний пружинного маятника». Энергия механических колебаний. Вынужденные колебания: превращение энергии при свободных гармонических колебаниях, затухающие колебания, вынужденные колебания, резонанс. Колебательный контур: свободные электромагнитные колебания, анало-</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы, закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассматривает абсолютную и относительную погрешности;</li> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>гия между механическими и электромагнитными колебаниями, вынужденные электромагнитные колебания, резонанс.</p> <p>Переменный электрический ток: действующие значения напряжения и силы тока, конденсатор и катушка индуктивности в цепи переменного тока, индукционный генератор электрического тока, производство, передача и потребление электроэнергии, трансформатор</p>	
<b>Волны (4 ч)</b>		
<p>Механические волны. Звук. Электромагнитные волны. Передача информации с помощью электромагнитных волн</p>	<p>Механические волны. Звук: механические волны, продольные и поперечные волны, основные характеристики волны, скорость волны, энергия волны, интерференция и дифракция волн, звук, высота и громкость звука, ультразвук и инфразвук. Электромагнитные волны: предсказание и открытие электромагнитных волн, теория Максвелла, опыт Герца,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы, закономерности и модели;</li> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и междисциплинарных задач;</li> </ul>

	<p>свойства электромагнитных волн, давление света, шкала электромагнитных волн, практическое применение электромагнитных излучений, передача информации с помощью электромагнитных волн, изображение радио, принципы радиосвязи, передача радиоволн, генератор на транзисторе, амплитудная модуляция, приём радиоволн современные средства связи, мобильная связь, Интернет.</p> <p>Контрольная работа № 2 «Колебания и волны»</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>
<b>ОПТИКА (33 ч)</b>		
<b>Геометрическая оптика (14 ч)</b>		
<p>Законы геометрической оптики.</p> <p>Линзы. Построение изображений в линзах.</p> <p>Глаз и оптические приборы</p>	<p>Законы геометрической оптики: луч света и точечный источник света, прямолинейное распространение света, отражение света, преломление света, полное внутреннее отражение.</p> <p>Лабораторная работа № 5 «Исследование преломления света на границах раздела «воздух — стекло» и «стекло — воздух».</p> <p>Линзы. Построение изображений в линзах: виды линз, основные элементы линзы, фокусы линзы, изображе-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (прямолинейное распространение, отражение и преломление света), закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему</li> </ul>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>ния в линзах, построение изображений в линзах, увеличение линзы, формула тонкой линзы, вывод формулы тонкой линзы, использование фокальной плоскости линзы для построения изображения точки, лежащей на главной оптической оси линзы, хода произвольного луча и нахождения фокусов, изображение треугольника в линзе.</p> <p>Глаз и оптические приборы: глаз и его строение, недостатки зрения и их исправление, фотоаппарат и видеокamera, киноаппарат и проектор</p>	<p>как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности</li> </ul>
<p><b>Волновая оптика (16 ч)</b></p> <p>Интерференция волн. Дифракция волн. Дисперсия. Поляризация. Принцип Гюйгенса — Френеля</p>	<p>Интерференция волн: корпускулярная теория света, волновая теория света, интерференция волн на поверхности воды, когерентность, условия интерференционных максимумов и минимумов, интерференция света, кольца Ньютона, просветление оптики.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы, закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекват-</li> </ul>

	<p>Дифракция волн: дифракция механических волн, дифракция света, опыт Юнга с двумя щелями, измерение длины волны света, дифракционная решётка, разрешающая способность оптических приборов.</p> <p>Лабораторная работа № 6 «Наблюдение интерференции и дифракции света».</p> <p>Лабораторная работа № 7 «Определение длины световой волны с помощью дифракционной решётки».</p> <p>Дисперсия. Поляризация: применение поляризации, соотношение между волновой и геометрической оптикой.</p> <p>Принцип Гюйгенса — Френеля: дисперсия света, спектрскоп, окраска предметов, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, инфракрасное излучение, ультрафиолетовое излучение, поляризация света, применение поляризации.</p> <p>Контрольная работа № 3 «Оптика»</p>	<p>ную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности</li> </ul>
<b>ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (3 ч)</b>		
<p>Основные положения специальной теории относительности.</p>	<p>Постулаты специальной теории относительности, относительность одновременности.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекват-</li> </ul>

Продолжение таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
Энергия тела. Энергия покоя	Энергия тела, энергия покоя, скорость света — предельная скорость, энергия и импульс свободной частицы; отменяет ли теория относительности классическую механику?	<p>ную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• характеризует системную связь между понятиями: пространство, время, движение, сила, энергия;</li> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач</li> </ul>
<b>КВАНТОВАЯ ФИЗИКА (22 ч)</b>		
<b>Кванты и атомы (10 ч)</b>		
Фотоэффект. Фотоны. Строение атома. Атомные спектры	Фотоэффект: гипотеза Планка, явление фотоэффекта, законы фотоэффекта, теория фотоэффекта, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, фотоны, опыт Вавилова, применение фотоэффекта. Строение атома: опыт Резерфорда, планетарная модель атома, теория атома Бора, спектры излучения и	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы (законы фотоэффекта), закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физиче-</li> </ul>

	<p>поглощения, спектральный анализ, энергетические уровни, объяснение линейчатого спектра водорода на основе квантовых постулатов Бора, спонтанное и вынужденное излучение, лазеры, корпускулярно-волновой дуализм.</p> <p>Лабораторная работа № 8 «Изучение спектра водорода по фотографии»</p>	<p>скую модель, разрешает проблему как на основе имеющихся знаний, так и при помощи методов оценки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет границы применения изученных физических моделей при решении физических и межпредметных задач;</li> <li>• самостоятельно конструирует экспериментальные установки для проверки выдвинутых гипотез, рассчитывает абсолютную и относительную погрешности;</li> <li>• объясняет принципы работы и характеристики изученных машин, приборов и технических устройств</li> </ul>
<p><b>Атомное ядро и элементарные частицы (12 ч)</b></p> <p>Атомное ядро. Радиоактивность. Ядерные реакции. Ядерная энергетика. Мир элементарных частиц</p>	<p>Атомное ядро, радиоактивность: строение атомного ядра, открытие протона и нейтрона, протонно-нейтронная модель ядра, ядерные силы, открытие радиоактивности, изотопы, радиоактивные превращения, правило смещения при <math>\alpha</math>-распаде, правило смещения при <math>\beta</math>-распаде, <math>\gamma</math>-излучение, закон радиоактивного распада. Ядерные реакции. Ядерная энергетика: ядерные реакции, энергия свя-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Решает практико-ориентированные качественные и расчётные физические задачи с опорой на известные физические законы, закономерности и модели;</li> <li>• объясняет условия применения физических моделей при решении физических задач, находит адекватную предложенной задаче физическую модель, разрешает проблему, как на основе имеющихся</li> </ul>

Окончание таблицы

Содержание предмета	Тематическое планирование	Основные виды деятельности учащегося
	<p>зи атомных ядер, реакции синтеза и деления ядер, цепные реакции деления, ядерный реактор, принцип действия атомной электростанции, ядерная энергетика, влияние радиации на живые организмы.</p> <p>Мир элементарных частиц: классификация элементарных частиц, фундаментальные частицы и фундаментальные взаимодействия, методы регистрации и исследования элементарных частиц, ускорители элементарных частиц.</p> <p>Лабораторная работа № 9 «Изучение треков заряженных частиц по фотографии».</p> <p>Контрольная работа № 4 «Квантовая физика»</p>	<p>знаний, так и при помощи методов оценки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• объясняет и анализирует роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологий, в практической деятельности людей</li> </ul>
<b>АСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА (8 ч)</b>		
<b>Солнечная система (3 ч)</b>		
Солнце. Планеты и другие тела Солнечной системы	Солнце: источник энергии Солнца, строение Солнца.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Характеризует взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;</li> </ul>

	<p>Планеты и другие тела Солнечной системы: планеты земной группы, планеты-гиганты, малые тела Солнечной системы, происхождение Солнечной системы</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• характеризует системную связь между основополагающими научными понятиями: пространство, поле), движение</li> </ul>
<p><b>Звёзды и галактики (5 ч)</b></p>		
<p>Звёзды. Галактики</p>	<p>Звёзды: главная последовательность, красные гиганты и белые карлики, эволюция звёзд, нейтронные звёзды, новые и сверхновые, чёрные дыры, происхождение химических элементов.</p> <p>Галактики: Млечный Путь, другие галактики, расширение Вселенной, Большой взрыв, тёмная энергия и тёмная материя</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Характеризует взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;</li> <li>• характеризует системную связь между основополагающими научными понятиями: пространство, поле), время, материя (вещество, поле), движение</li> </ul>
<p><b>Физический практикум <sup>1)</sup> (15 ч)</b>  <b>Итоговое повторение, подготовка к ЕГЭ (45 ч)</b>  <b>Резерв учебного времени <sup>2)</sup> (14 ч)</b></p>		

- 1) Работы физического практикума выбираются по усмотрению учителя и должны включать прямые и косвенные измерения, наблюдения явлений, исследования, проверку гипотез (в том числе неверных), а также конструирование технических устройств.
- 2) По усмотрению учителя часы резерва учебного времени можно использовать для проектно-исследовательской деятельности.

# ПРИМЕРНОЕ ПОУРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ УРОКОВ

## Примерное поурочное планирование

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
<b>Физика и естественнонаучный метод познания природы (1 ч / 2 ч)</b>			
Физика — фундаментальная наука о природе	1	1	
Роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в практической деятельности людей		1	
<b>Механика (38 ч / 78 ч)</b>			
<b>Кинематика</b>	<b>15 ч</b>	<b>24 ч</b>	
Система отсчёта, траектория, путь и перемещение	1	1	
Прямолинейное равномерное движение	1	1	
Средняя скорость	1	1	
Сложение скоростей при движении вдоль одной прямой	1	1	
Сложение скоростей при движении на плоскости	0	1	
Решение задач по теме «Прямолинейное равномерное движение»	1	1	
Прямолинейное равноускоренное движение	1	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении	1	1	
Соотношение между путём и скоростью	1	1	
Более сложные задачи о равноускоренном движении	0	1	
Решение задач по теме «Прямолинейное равноускоренное движение»	0	1	
Свободное падение тела	1	1	
Движение тела, брошенного вертикально вверх	1	1	
Решение задач по теме «Свободное падение»	1	1	
Движение тела, брошенного горизонтально	0	1	
Погрешность прямого и косвенного измерения	0	1	
<i>Лабораторная работа «Изучение движения тела, брошенного горизонтально»</i>	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение тела, брошенного под углом к горизонту»	0	2	
Решение задач по теме «Движение тела, брошенного под углом к горизонту»	0	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Равномерное движение по окружности	1	1	
Решение задач по теме «Равномерное движение по окружности»	1	1	
Обобщающий урок «Кинематика»	1	1	
<i>Контрольная работа «Кинематика»</i>	1	1	
<b>Динамика</b>	<b>12 ч</b>	<b>27 ч</b>	
Три закона Ньютона	1	1	
Закон всемирного тяготения	1	1	
Сила тяжести и закон всемирного тяготения	1	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение по круговой орбите под действием силы тяготения»	0	1	
Силы упругости	1	1	
<i>Лабораторная работа «Измерение жёсткости пружины»</i>	1	1	
Вес тела, движущегося с ускорением	1	1	
Решение задач по теме «Силы упругости»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение тела под действием силы упругости»	0	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Силы трения	1	1	
Решение задач по теме «Силы трения»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение тела по горизонтальной поверхности»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение тела по вертикальной поверхности»	0	1	
Решение задач по теме «Движение тела под действием различных сил»	1	1	
Исследование ключевой ситуации «Тело на гладкой наклонной плоскости»	1	1	
Исследование ключевой ситуации «Тело на шероховатой наклонной плоскости»	0	1	
Решение задач по теме «Тело на наклонной плоскости»	0	1	
<i>Лабораторная работа «Измерение коэффициента трения с помощью наклонной плоскости. Конструирование наклонной плоскости с заданным КПД»</i>	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Поворот транспорта»	1	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Исследование ключевой ситуации «Конический маятник»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение тела по окружности внутри полусферы и конуса»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение системы связанных тел в одном направлении»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение системы связанных тел в разных направлениях»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение системы тел при наличии наклонной плоскости и блока»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение системы тел с учётом трения»	0	1	
Обобщающий урок «Динамика»	1	1	
<i>Контрольная работа «Динамика»</i>	1	1	
<b>Законы сохранения в механике</b>	<b>9 ч</b>	<b>21 ч</b>	
Импульс. Закон сохранения импульса	1	1	
Решение задач по теме «Импульс. Закон сохранения импульса»	0	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Условия применения закона сохранения импульса	1	1	
Реактивное движение. Освоение космоса		0	
Решение задач по теме «Условия применения закона сохранения импульса»	0	1	
Реактивное движение. Освоение космоса	0	1	
Механическая работа, мощность	1	1	
Решение задач по теме «Механическая работа, мощность»	0	1	
Потенциальная энергия	1	1	
Кинетическая энергия		1	
Применение теоремы об изменении кинетической энергии к рассмотрению ключевых ситуаций	0	1	
Закон сохранения энергии в механике	1	1	
Решение задач по теме «Закон сохранения энергии в механике»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости»	0	2	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Исследование ключевых ситуаций «Разрыв снаряда в полёте», «Баллистический маятник»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение гладкой горки и шайбы»	0	1	
<i>Лабораторная работа «Определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути»</i>	1	1	
<i>Лабораторная работа «Нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения»</i>	1	1	
Движение жидкостей и газов	1	1	
Обобщающий урок «Законы сохранения в механике»	0	1	
<i>Контрольная работа «Законы сохранения в механике»</i>	1	1	
<b>Статика и гидростатика</b>	<b>2 ч</b>	<b>6 ч</b>	
Условия равновесия тела	1	1	
Центр тяжести		0	
Применение условий равновесия тела к однородному стержню	0	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Центр тяжести. Виды равновесия	0	1	
Равновесие жидкости и газа	1	1	
Решение задач по теме «Равновесие жидкости и газа»	0	1	
<i>Контрольная работа «Статика и гидростатика»</i>	0	1	
<b>Молекулярная физика. Тепловые явления (15 ч / 34 ч)</b>			
<b>Молекулярная физика</b>	<b>9 ч</b>	<b>19 ч</b>	
Строение вещества	1	1	
Количество вещества		1	
Изобарный и изохорный процессы	1	1	
Изотермический процесс		1	
<i>Лабораторная работа «Опытная проверка закона Бойля — Мариотта»</i>	1	1	
<i>Лабораторная работа «Опытная проверка закона Гей-Люссака»</i>	1	1	
Решение задач по теме «Изопроцессы»	1	1	
Уравнение Клапейрона	1	1	
Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона)		1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Решение задач по теме «Уравнение состояния идеального газа»	0	1	
Основное уравнение молекулярно-кинетической теории	1	1	
Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул		1	
Решение задач по теме «Основное уравнение молекулярно-кинетической теории»	0	1	
Насыщенный пар	1	1	
Влажность		1	
<i>Лабораторная работа «Исследование скорости остывания воды»</i>	0	1	
Решение задач по теме «Насыщенный пар. Влажность»	0	1	
Свойства жидкостей и твёрдых тел	1	1	
<i>Лабораторная работа «Измерение модуля Юнга»</i>	0	1	
<b>Термодинамика</b>	<b>6 ч</b>	<b>15 ч</b>	
Внутренняя энергия	1	1	
Первый закон термодинамики	1	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Решение задач по теме «Первый закон термодинамики»	0	1	
Применение первого закона термодинамики к газовым процессам	1	1	
Исследование ключевой ситуации «Циклический газовый процесс»	0	1	
Решение задач по теме «Применение первого закона термодинамики к газовым процессам»	1	1	
Принцип действия и основные элементы теплового двигателя. Второй закон термодинамики	1	1	
Примеры расчёта КПД циклов	0	1	
Решение задач по теме «Тепловые двигатели»	0	1	
Фазовые переходы	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Установление теплового равновесия при наличии фазовых переходов»	0	1	
Решение задач по теме «Фазовые переходы»	0	1	
<i>Лабораторная работа «Измерение удельной теплоты плавления льда»</i>	0	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Обобщающий урок «Молекулярная физика. Тепловые явления»	0	1	
<i>Контрольная работа «Молекулярная физика. Тепловые явления»</i>	1	1	
<b>Электростатика. Постоянный ток (14 ч / 36 ч)</b>			
<b>Электростатика</b>	<b>6 ч</b>	<b>18 ч</b>	
Электрические взаимодействия	1	1	
Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона		1	
Решение задач по теме «Закон Кулона»	1	1	
Напряжённость электрического поля	1	1	
Принцип суперпозиции полей	0	1	
Решение задач по теме «Напряжённость электростатического поля»	0	1	
Проводники в электрическом поле	1	1	
Диэлектрики в электрическом поле		1	
Решение задач по теме «Проводники и диэлектрики в электрическом поле»	0	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Работа электрического поля	1	1	
Разность потенциалов		1	
Соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение заряженной частицы в однородном электрическом поле»	0	1	
Емкость. Энергия электрического поля	1	1	
Решение задач по теме «Емкость»	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Движение заряженной частицы в конденсаторе»	0	1	
Обобщающий урок «Электростатика»	0	1	
<i>Контрольная работа «Электростатика»</i>	0	1	
<b>Постоянный электрический ток</b>	<b>8 ч</b>	<b>18 ч</b>	
Закон Ома для участка цепи	1	1	
<i>Лабораторная работа «Исследование вольт-амперной характеристики лампы накаливания»</i>	0	1	

Продолжение таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Исследование ключевых ситуаций «Последовательное и параллельное соединение проводников»	1	1	
Решение задач по теме «Последовательное и параллельное соединение проводников»	0	1	
Работа и мощность тока	1	1	
<i>Лабораторная работа «Мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении»</i>	1	1	
Решение задач по теме «Работа и мощность тока»	0	1	
Закон Ома для полной цепи	1	1	
Решение задач по теме «Закон Ома для полной цепи»	0	1	
Лабораторная работа «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»	1	1	
Расчёт электрических цепей с помощью метода эквивалентных электрических схем	0	1	
Максимальная мощность во внешней цепи	0	1	
Исследование ключевой ситуации «Конденсаторы в цепи постоянного тока»	0	1	

Окончание таблицы

Тема	Базовый уровень (часы)	Углублённый уровень (часы)	Дата проведения
Электрический ток в жидкостях	1	1	
Электрический ток в газах и вакууме		1	
Электрический ток в полупроводниках		1	
Обобщающий урок «Постоянный электрический ток»	0	1	
<i>Контрольная работа «Постоянный электрический ток»</i>	1	1	
<b>Обобщающее повторение (0 ч / 2 ч)</b>			
<i>Итоговая контрольная работа</i>	0	1	
Подведение итогов учебного года	0	1	
<b>Физический практикум (0 ч / 15 ч)</b>			
Механика	0	6	
Молекулярная физика. Тепловые явления	0	4	
Электростатика. Постоянный ток	0	5	
<b>ИТОГО: Базовый уровень — 70 ч, углублённый уровень — 175 ч</b>			
<b>Контрольные работы — 6 ч / 8 ч</b>			
<b>Лабораторные работы — 8 ч / 9 ч</b>			
<b>Физический практикум — 0 ч / 15 ч</b>			
<b>Резерв учебного времени — 2 ч / 8 ч</b>			

**Примерное содержание уроков  
(базовый уровень)****Физика и естественнонаучный метод  
познания природы (1 ч)****Урок № 1/1. Физика — фундаментальная наука о природе**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Научный метод познания.

\_\_\_\_\_

2. Моделирование явлений и процессов. Введение № 1.

\_\_\_\_\_

3. Физические законы и физические теории. Введение № 2.

\_\_\_\_\_

*Материалы для домашнего задания:* Введение, § 1 (п. 4).

\_\_\_\_\_

**Глава I. Кинематика (15 ч)****Урок № 1/2. Система отсчёта, траектория, путь и перемещение**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Система отсчёта. § 1 (п. 1); № 1.

\_\_\_\_\_

2. Материальная точка. § 1 (п. 2); № 2, 3.

\_\_\_\_\_

3. Траектория, путь, перемещение. § 1 (п. 3); № 4—7, 9—13.

\_\_\_\_\_

---

4. «Золотое правило» решения задач. § 1 (п. 5).

---

*Демонстрации:*

Демонстрация пути и перемещения на вращающемся диске.

Демонстрация относительности движения и покоя, скорости и перемещения.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 1; № 23—25, 27, 30. *Экспериментальное задание*<sup>1)</sup>: Придумайте способы записи траекторий движения тела, участвующего одновременно: а) в двух прямолинейных движениях; б) в прямолинейном и вращательном движении.

---

**Урок № 2/3. Прямолинейное равномерное движение**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Скорость. § 2 (п. 1); № 1—3.

---

2. График зависимости координаты тела от времени. § 2 (п. 2); № 4, 5.

---

*Демонстрации:* Равномерное движение заводной машинки по столу.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 2 (пп. 1, 2); № 23, 24, 28.

---

---

<sup>1)</sup> За выполнение домашнего экспериментального задания можно поставить дополнительную отметку.

**Урок № 3/4. Средняя скорость**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Средняя скорость. § 2 (п. 3); № 6, 7.
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 2 (пп. 1—3); № 25, 26, 29.

---

**Урок № 4/5. Сложение скоростей при движении вдоль одной прямой**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Сложение скоростей при движении вдоль одной прямой. § 2 (п. 4); № 15, 16.
- 

*Демонстрации:* Демонстрация сложения скоростей.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 2 (п. 4); № 27, 30.

---

**Урок № 5/6. Решение задач по теме «Прямолинейное равномерное движение»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Прямолинейное равномерное движение».
-

2. Кратковременная самостоятельная работа<sup>1)</sup> по § 1, 2.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 1; № 26, 28, 29. § 2; № 31.

---

### **Урок № 6/7. Прямолинейное равноускоренное движение**

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### **Содержание урока**

1. Зависимость скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении. § 3 (п. 1); № 1—4.

---

2. График зависимости скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении. § 3 (п. 2); № 5—7.

---

*Демонстрации:* Демонстрация скатывания шарика по наклонной плоскости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3 (пп. 1, 2); № 27, 28, 31.

---

### **Урок № 7/8. Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении**

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### **Содержание урока**

1. Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении. § 3 (п. 3).

---

<sup>1)</sup> Задания для самостоятельных и контрольных работ содержатся в «Тетради для самостоятельных и контрольных работ» издательства «БИНОМ. Лаборатория знаний».

2. Перемещение при движении без начальной скорости. § 3 (п. 3); № 8, 9.

---

3. Перемещение при движении с начальной скоростью. § 3 (п. 3); № 10—12.

---

*Демонстрации:* Демонстрация движения шарика по наклонному жёлобу вверх и вниз.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3; № 29, 30.

---

### **Урок № 8/9. Соотношение между путём и скоростью**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Соотношение между путём и скоростью. § 3 (п. 3); № 13—16.

---

2. Тормозной путь. § 3 (п. 3); № 18, 19.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3 (пп. 1—3); № 32, 33.

---

### **Урок № 9/10. Свободное падение тела**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Свободное падение. § 4 (п. 1); № 1—8.

---

*Демонстрации:* Опыт с трубкой Ньютона. § 4 (п. 1).

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (п. 1); № 57.

---

**Урок № 10/11. Движение тела, брошенного вертикально вверх**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Движение тела, брошенного вертикально вверх. § 4 (п. 2); № 9—15, 18—20.

---

*Демонстрации:* Движение тела, брошенного вертикально вверх.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (п. 2); № 16, 58, 61.

---

**Урок № 11/12. Решение задач по теме «Свободное падение»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Свободное падение». § 4 (п. 2); № 22—24.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Свободное падение».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (пп. 1—2); № 25, 59, 67.

---

**Урок № 12/13. Равномерное движение по окружности**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Направление скорости тела при движении по окружности. § 5 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Ускорение тела при равномерном движении по окружности. § 5 (п. 2); № 3, 6—9.

---

*Демонстрации:* Направление скорости при движении по окружности.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 5 (пп. 1, 2); № 29—31.

---

**Урок № 13/14. Решение задач по теме «Равномерное движение по окружности»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Частота обращения. § 5 (п. 3); № 10—17.

---

2. Угловая скорость. § 5 (п. 3); № 18—21.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 5 (пп. 1—3); № 32—34, 36.

---

**Урок № 14/15. Обобщающий урок «Кинематика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Повторение ключевых ситуаций кинематики.
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 1—5; задания типовой контрольной работы<sup>1)</sup>.

---

**Урок № 15/16. Контрольная работа № 1 «Кинематика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Кинематика».
- 

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы<sup>2)</sup>.

---

- 
- 1) Задания типовой контрольной работы содержатся в «Тетради для самостоятельных и контрольных работ» издательства «ВИНОМ. Лаборатория знаний».
  - 2) Полезно, чтобы после контрольной работы ученики дома решили те задания своего варианта, которые они не сделали на контрольной работе. За выполнение такой работы можно поставить дополнительную отметку. Те ученики, которые полностью выполнили все задания контрольной работы, в качестве домашней работы могут составить и решить от одной до трёх задач, похожих на задачи, предложенные в контрольной работе.

## Глава II. Динамика (12 ч)

### Урок № 1/17. Три закона Ньютона

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Закон инерции — первый закон Ньютона. § 6 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Второй закон Ньютона. § 6 (п. 2); № 3—6, 15, 16.

---

3. Третий закон Ньютона. § 6 (п. 3); № 7, 8, 20, 25.

---

#### *Демонстрации:*

Проявление инерции: обрыв верхней и нижней нити под массивным грузом, скатывание шарика по наклонной плоскости с небольшим углом наклона и дальнейшее его движение по горизонтальной поверхности с различным типом покрытия и др.

Взаимодействие двух тележек равных масс.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 6 (пп. 1—3); № 17—19, 21, 22, 24.

---

### Урок № 2/18. Закон всемирного тяготения

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Закон всемирного тяготения. § 7 (п. 1); № 1—6.

---

2. *Исследование ключевой ситуации* «Движение планет вокруг Солнца». § 7 (п. 2); № 7—10.

---

*Демонстрации:* Интерактивная задача «Закон всемирного тяготения» из единой коллекции цифровых образовательных ресурсов.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 7 (пп. 1, 2); № 38—40, 43, 44.

---

### **Урок № 3/19. Сила тяжести и закон всемирного тяготения**

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Сила тяжести и закон всемирного тяготения. § 7 (п. 3); № 14—17.

---

2. Первая космическая скорость. § 7 (п. 4); № 19—20.

---

3. Как измерили гравитационную постоянную. § 7 (п. 5); № 23.

---

*Демонстрации:* Действие силы тяжести.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 7 (пп. 1—4); № 41, 42, 45—47.

---

**Урок № 4/20. Силы упругости**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Силы упругости и деформация тел. § 8 (п. 1).

---

2. Закон Гука. § 8 (п. 2); № 1—6.

---

3. Примеры сил упругости. § 8 (п. 3); № 7—10.

---

*Демонстрации:*

Наблюдение малых деформаций.

Деформация стеклянной колбы.

Деформация пружины.

Демонстрация видов деформации с помощью модели «гармошка».

Демонстрация набора пружин различной жёсткости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 8 (пп. 1—3); № 35, 36, 40. Подготовиться к лабораторной работе (с. 241—242).

---

**Урок № 5/21. Лабораторная работа № 1 «Измерение жёсткости пружины»<sup>1)</sup>**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Лабораторная работа № 1. «Измерение жёсткости пружины».

---

---

<sup>1)</sup> Работу целесообразно выполнять в «Тетради для лабораторных работ» издательства «БИНОМ. Лаборатория знаний».

*Материалы для домашнего задания:* § 8 (пп. 1—3); № 37, 41, 42.

---

### Урок № 6/22. Вес тела, движущегося с ускорением

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Вес тела, движущегося с ускорением. § 8 (п. 4); № 11—18.

---

2. Невесомость. § 8 (п. 4); № 21, 23.

---

#### *Демонстрации:*

Демонстрация изменения веса тела, движущегося с ускорением вверх и вниз.

Невесомость.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 8 (пп. 1—4); № 19, 38, 39, 44, 45. *Экспериментальное задание:* К тонкой резинке подвесьте тяжёлый предмет. Поднимая и опуская верхний край резинки с ускорением, наблюдайте изменения, происходящие с ней. Какой вывод можно сделать по результатам этого эксперимента?

---

### Урок № 7/23. Силы трения

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Сила трения скольжения. § 9 (п. 1); № 1—5.

---

2. Сила трения покоя. § 9 (п. 2); № 6—9.

---

3. Другие виды сил трения. § 9 (п. 3).

---

*Демонстрации:*

Трение покоя и скольжения.

Замена трения скольжения на трение качения.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 9 (пп. 1—3); № 13—15, 17, 18. *Экспериментальное задание:* Рассчитайте коэффициент трения колёс автомобиля по асфальту (или грунтовой дороге) при его торможении до полной остановки. Сравните расчётное значение коэффициента трения с табличными данными, приведёнными на форзаце учебника.

---

**Урок № 8/24. Решение задач по теме «Движение тела под действием различных сил»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Силы тяготения».

---

2. Решение задач по теме «Силы упругости».

---

3. Решение задач по теме «Силы трения».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 7—9.

---

**Урок № 9/25. Исследование ключевой ситуации «Тело на гладкой наклонной плоскости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Тело на гладкой наклонной плоскости».* § 10 (п. 1); № 1—4.

---

*Демонстрации:* Демонстрация «Силы, действующие на тело, находящееся на гладкой наклонной плоскости» с помощью средств ИКТ<sup>1)</sup>.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 10 (п. 1); № 5, 18, 19, 21.

---

**Урок № 10/26. Исследование ключевой ситуации «Поворот транспорта»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Поворот транспорта на горизонтальной дороге. § 11 (п. 1); № 1—4.

---

*Демонстрации:* Тело на вращающемся диске.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 11 (п. 1); № 5, 17, 19.

---

---

1) Здесь и далее: ИКТ — информационно-коммуникационные технологии.

**Урок № 11/27. Обобщающий урок «Динамика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Повторение ключевых ситуаций динамики.
- 

*Материалы для домашнего задания:* задания типовой контрольной работы.

---

**Урок № 12/28. Контрольная работа № 2 «Динамика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Динамика».
- 

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

**Глава III. Законы сохранения в механике (9 ч)****Урок № 1/29. Импульс. Закон сохранения импульса**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Импульс. § 13 (п. 1); № 1—3.
- 

2. Импульс силы. § 13 (п. 2); № 7—11
- 

3. Закон сохранения импульса. § 13 (п. 3); № 14—17.
-

*Демонстрации:* Демонстрация упругого и неупругого столкновения.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 13 (пп. 1—3); № 26—29, 31, 33.

---

**Урок № 2/30. Условия применения закона сохранения импульса. Реактивное движение. Освоение космоса**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Внутренние и внешние силы. § 14 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Внешние силы уравнивают друг друга или ими можно пренебречь. § 14 (п. 2); № 3—5.

---

3. Проекция внешних сил на некоторую ось координат равна нулю. § 14 (п. 3); № 6.

---

4. Удары, столкновения, разрывы, выстрелы. § 14 (п. 4); № 7—9.

---

5. Реактивное движение. § 15 (п. 1); № 1—3.

---

6. Развитие ракетостроения. Освоение космоса. § 15 (п. 2).

---

*Демонстрации:*

Упругий и неупругий удары.

Движение воздушного шарика.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 14 (пп. 1—4); № 17—19, 23, 24. § 15 (пп. 1, 2); № 9—11, 14.

---

**Урок № 3/31. Механическая работа, мощность**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Определение работы. § 16 (п. 1); № 1—4.

---

2. Работа силы тяжести. § 16 (п. 2); № 5, 6, 12.

---

3. Работа силы упругости. § 16 (п. 3); № 13—18.

---

4. Работа силы трения. § 16 (п. 4); № 21.

---

5. Мощность. § 16 (п. 5); № 23—27.

---

*Демонстрации:*

Возвращение пружины в недеформированное состояние.

Движение бруска по столу после толчка до остановки.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 16 (пп. 1—5); № 34—36, 38, 40, 42, 44.

---

**Урок № 4/32. Потенциальная и кинетическая энергия**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Связь энергии и работы. § 17 (п. 1); № 1—4.

---

2. Потенциальная энергия. § 17 (п. 2); № 5, 8, 9.

---

3. Кинетическая энергия. § 17 (п. 3); № 10, 11.

---

4. Теорема об изменении кинетической энергии. § 17 (п. 3); № 15.

---

*Демонстрации:*

Совершение работы деформированной пружиной, поднятым телом.

Совершение работы за счёт кинетической энергии.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 17 (пп. 1—3); № 21—26, 30, 32.

---

**Урок № 5/33. Закон сохранения энергии в механике**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Механическая энергия и закон сохранения энергии в механике. § 18 (п. 1); № 1—4.

---

2. Примеры применения закона сохранения энергии в механике. § 18 (п. 2); № 6, 8.

---

3. Изменение механической энергии вследствие трения скольжения. § 18 (п. 3); № 11, 12.

---

4. Общий закон сохранения энергии. § 18 (п. 4).

---

*Демонстрации:* Изменение механической энергии вследствие трения.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 18 (пп. 1—4); № 20—22, 25—27. Подготовиться к лабораторной работе (с. 244—245).

---

**Урок № 6/34. Лабораторная работа № 2 «Определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 2 «Определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 18 (пп. 1—4); № 23, 24, 28, 29. Подготовиться к лабораторной работе (с. 245—247).

---

**Урок № 7/35. Лабораторная работа № 3 «Нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 3 «Нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 18 (пп. 1—4).

---

**Урок № 8/36. Движение жидкостей и газов**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Давление в потоке жидкости и газа. § 21 (п. 1); № 1—3.
- 

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Работа. Мощность. Энергия».
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 21 (п. 1). Задания типовой контрольной работы. *Экспериментальное задание:* Изготовьте из цилиндров одноразовых шприцев, отрезка трубки от системы для переливания крови и стержней гелевых ручек трубу переменного сечения (см. рис. 21.1). Проверьте с её помощью: давление в узкой части трубы меньше или больше, чем в широкой?

---

**Урок № 9/37. Контрольная работа № 3 «Законы сохранения в механике»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Законы сохранения в механике».
- 

*Материалы для домашнего задания:* провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

**Глава IV. Статика и гидростатика (2 ч)****Урок № 1/38. Условия равновесия тела**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Первое условие равновесия. § 22 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Условие равновесия тела, закреплённого на оси. § 22 (п. 2); № 3—5.

---

3. Второе условие равновесия. § 22 (п. 3); № 7.

---

4. Центр тяжести. § 23 (п. 1); № 1, 2.

*Демонстрации:*

Условие равновесия рычага.

Поворот тела под действием двух сил.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 22 (пп. 1—3); № 11, 12, 15—17. § 23 (п. 1); № 11, 12.

---

**Урок № 2/39. Равновесие жидкости и газа**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Зависимость давления жидкости от глубины. § 24 (п. 1); № 1, 2, 4.

---

2. Закон Архимеда. § 24 (п. 2); № 6.

---

3. Плавание тел. § 24 (п. 3); № 9.

---

4. Воздухоплавание. § 24 (п. 4); № 15.

---

5. Действительно ли погружённое в воду тело «теряет в весе»? § 24 (п. 5); № 18, 19, 21.

---

*Демонстрации:*

Зависимость давления жидкости от глубины.

Сообщающиеся сосуды с однородной жидкостью.

Сообщающиеся сосуды с разнородными жидкостями.

Плавание тел.

Теряет ли в весе погружённое в воду тело? § 24, рис. 24.4.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 24; № 22—24, 28, 29.

---

## Глава V. Молекулярная физика (9 ч)

### Урок № 1/40. Строение вещества. Количество вещества

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. § 25 (п. 1); № 1—5.

---

2. Основная задача молекулярно-кинетической теории. § 25 (п. 2).

---

3. Агрегатные состояния вещества. § 25 (п. 3); № 6.

---

4. Количество вещества. § 25 (п. 4); № 7, 8, 11—15.

---

5. Молярная масса. § 25 (п. 5); № 16, 18, 25, 28.

---

*Демонстрации:*

Механическая модель броуновского движения.

Диффузия в газах и жидкостях.

Взаимодействие молекул.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 25 (пп. 1—5); № 23, 24, 27—32.

---

**Урок № 2/41. Изобарный, изохорный и изотермический процессы**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Изобарный процесс. § 26 (п. 1); № 1—6.

---

2. Изохорный процесс. § 26 (п. 2); № 8, 9.

---

3. Изотермический процесс. § 26 (п. 3); № 11, 12.

---

*Демонстрации:*

Зависимость объёма от температуры при постоянном давлении.

Зависимость давления от температуры при постоянном объёме.

Зависимость давления от объёма при постоянной температуре.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26 (пп. 1—3); № 17, 18, 20—22. Подготовиться к лабораторной работе (с. 193—194).

---

**Урок № 3/42. Лабораторная работа № 4 «Опытная проверка закона Бойля — Мариотта»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Лабораторная работа № 4 «Опытная проверка закона Бойля — Мариотта».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26 (пп. 1—3); № 19, 24. Подготовиться к лабораторной работе (с. 194—195).

---

**Урок № 4/43. Лабораторная работа № 5 «Опытная проверка закона Гей-Люссака»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Лабораторная работа № 5 «Опытная проверка закона Гей-Люссака».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26 (пп. 1—3); № 27. *Экспериментальное задание:* из подручных средств изготовьте термометр (по возможности проградуируйте его).

---

**Урок № 5/44. Решение задач по теме «Изопроцессы»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Решение задач по теме «Изопроцессы».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Изопроцессы».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26 (пп. 1—3); № 29, 30.

---

**Урок № 6/45. Уравнение Клапейрона. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона)**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Уравнение Клапейрона. § 27 (п. 1); № 1—3.

---

2. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона). § 27 (п. 3); № 9—11, 13—16.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 27 (пп. 1, 3); № 21—23, 25, 28, 33.

---

**Урок № 7/46. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. § 28 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул. § 28 (п. 2); № 3, 4.

---

3. Скорости молекул. § 28 (п. 3); № 5—11.

---

4. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Уравнение состояния идеального газа».

---

*Демонстрации:*

Механическая модель давления газа.  
Модель опыта Штерна.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 28 (пп. 1—3); № 16—20, 23.

---

**Урок № 8/47. Насыщенный пар. Влажность**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Насыщенный и ненасыщенный пар. § 29 (п. 1); № 1.

---

2. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. § 29 (п. 2); № 2.

---

3. Кипение. § 29 (п. 3); № 3—5.

---

4. Влажность воздуха. § 29 (п. 4); № 6.

---

5. Измерение влажности воздуха. § 29 (п. 4); № 7—10.

---

*Демонстрации:*

Уменьшение температуры тела при испарении.  
Особенности испарения.  
Конденсация водяного пара.  
Зависимость температуры кипения от внешнего давления.

Измерение влажности воздуха с помощью психрометра.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 29; № 12—15, 19, 20.

---

### Урок № 9/48. Свойства жидкостей и твёрдых тел

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Модель строения жидкостей. § 30 (п. 1); № 1.

---

2. Поверхностное натяжение. § 30 (п. 2); № 2, 3, 5.

---

*Демонстрации:*

Поверхностное натяжение жидкости.

Капиллярные явления.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 30 (пп. 1, 2).

---

## Глава VI. Термодинамика (6 ч)

### Урок № 1/49. Внутренняя энергия

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Внутренняя энергия и способы её изменения. § 31 (п. 1); № 1—3.

---

2. Как внутреннюю энергию частично превратить в механическую? § 31 (п. 2).

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Молекулярная физика».

---

*Демонстрации:*

Способы изменения внутренней энергии.

Воздушное огниво.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 31 (пп. 1, 2); № 23—25.

---

### **Урок № 2/50. Первый закон термодинамики**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Первый закон термодинамики. § 31 (п. 3).

---

2. Адиабатный процесс. § 31 (п. 4); № 4—7.

---

3. Следствия первого закона термодинамики для изопроцессов. § 31 (п. 5), № 8—22.

---

*Демонстрации:*

Адиабатный процесс.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 31; № 26—29, 30—32.

---

**Урок № 3/51. Применение первого закона термодинамики к газовым процессам**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Изменение внутренней энергии газа. § 32 (п. 1); № 1—6.

---

2. Работа газа. § 32 (п. 2); № 9—11.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 32 (пп. 1, 2); № 17—19, 22, 23.

---

**Урок № 4/52. Решение задач по теме «Применение первого закона термодинамики к газовым процессам»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Применение первого закона термодинамики к газовым процессам».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Применение первого закона термодинамики к газовым процессам».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 32; № 20, 21, 24.

---

**Урок № 5/53. Принцип действия и основные элементы теплового двигателя. Второй закон термодинамики**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Принцип действия и основные элементы теплового двигателя. § 33 (п. 1).

---

2. КПД теплового двигателя. § 33 (п. 2), № 1—3.

---

3. Второй закон термодинамики. § 33 (п. 4).

---

4. Энергетический и экологический кризисы. § 33 (п. 5).

---

*Демонстрации:*

Модель паровой машины и турбины.

Модель двигателя внутреннего сгорания.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 33 (пп. 1, 2, 4, 5); № 6—10. Задания типовой контрольной работы.

---

**Урок № 6/54. Контрольная работа № 4 «Молекулярная физика. Тепловые явления»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Молекулярная физика. Тепловые явления».

---

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

## Глава VII. Электростатика (6 ч)

### Урок № 1/55. Электрические взаимодействия. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Два знака электрических зарядов. § 35 (п. 1); № 1.

---

2. Носители электрического заряда. Закон сохранения электрического заряда. § 35 (п. 2); № 2—4.

---

3. Электризация через влияние. Перераспределение зарядов. § 35 (п. 3); № 5—7.

---

4. Единица электрического заряда. Элементарный электрический заряд. § 35 (п. 4).

---

5. Закон Кулона. § 35 (п. 5); № 9, 10.

---

#### *Демонстрации:*

Электризация трением и соприкосновением.

Взаимодействие наэлектризованных тел.

Электризация через влияние.

Притяжение незаряженного тела к заряженному.

Закон сохранения электрического заряда.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 35 (пп. 1—5); № 17, 19, 23—27. *Экспериментальное задание:* Изготовьте из подручных средств электроскоп и сделайте с ним опыты по электризации электроскопа соприкосновением и через влияние. Сделайте в тетради схематические рисунки, поясняющие перераспределение зарядов в этих случаях.

---

**Урок № 2/56. Решение задач по теме «Закон Кулона»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Решение задач по теме «Закон Кулона». § 35 (пп. 1—5); № 20—22, 31, 33.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Электризация тел. Закон Кулона».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 35 (пп. 1—5); № 18, 28—30.

---

**Урок № 3/57. Напряжённость электрического поля**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Напряжённость электрического поля. § 36 (п. 1); № 1—6.

---

2. Линии напряжённости. § 36 (п. 2); № 11, 12, 14, 15, 18.

---

*Демонстрации:*

Линии напряжённости электростатического поля.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 36 (пп. 1, 2); № 21, 22, 25.

---

**Урок № 4/58. Проводники и диэлектрики в электрическом поле**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Проводники в электрическом поле. § 37 (п. 1); № 1.

---

2. Диэлектрики в электрическом поле. § 37 (п. 2); № 2—5.

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Напряжённость электростатического поля».

---

*Демонстрации:*

Проводники.

Электростатическая защита.

Диэлектрики.

*Материалы для домашнего задания:* § 37 (пп. 1, 2); № 8—10.

---

**Урок № 5/59. Работа электрического поля. Разность потенциалов**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Работа поля при перемещении заряда. § 38 (п. 1); № 1—5.

---

2. Разность потенциалов (напряжение). § 38 (п. 2); № 6—10.

---

3. Соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля. § 38 (п. 3); № 11, 13.

---

4. Эквипотенциальные поверхности. § 38 (п. 4); № 14.

---

*Демонстрации:* Измерение разности потенциалов.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 38 (пп. 1—4); № 20—23, 25.

---

**Урок № 6/60. Электроёмкость. Энергия электрического поля**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Электроёмкость. § 39 (п. 1); № 1—3, 6, 8.

---

2. Энергия электрического поля. § 39 (п. 2); № 11—13.

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Электростатика».

---

*Демонстрации:*

Зависимость электроёмкости плоского конденсатора от его геометрических размеров и вида диэлектрика.

Виды конденсаторов.

Энергия заряженного конденсатора.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 39 (пп. 1, 2); № 19—21, 23—26.

---

**Глава VIII. Постоянный электрический ток (8 ч)**

**Урок № 1/61. Закон Ома для участка цепи. Лабораторная работа № 6 «Исследование вольт-амперной характеристики лампы накаливания»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

**Содержание урока**

1. Сила тока. § 40 (п. 1); № 1—5.

---

2. Закон Ома для участка цепи. § 40 (п. 2); № 6—9.

---

3. Природа электрического сопротивления. Зависимость сопротивления от температуры. § 40 (п. 3).

---

**Демонстрации:**

Условия существования электрического тока в проводниках.

Зависимость удельного сопротивления от температуры.

Действия тока.

---

**Материалы для домашнего задания:** § 40 (пп. 1—3); № 33—35. **Экспериментальное задание:** Используя два небольших лимона, медную проволоку диаметром около 1 мм, цинковую<sup>1)</sup> пластинку и светодиод<sup>2)</sup>, изготовьте в домашних условиях гальванический элемент и проверьте его работоспособность. Какие ещё фрукты и овощи могут служить основой для гальванического элемента?

---

1) Цинковую пластинку можно «добыть», разобрав старую батарейку.

2) Можно использовать светодиод от брелока для ключей или от сломанных игрушек.

**Урок № 2/62. Исследование ключевых ситуаций «Последовательное и параллельное соединение проводников»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Последовательное и параллельное соединение проводников. § 40 (п. 4); № 12—18, 20—27.

---

2. Измерение силы тока и напряжения. 40 (п. 5); № 31, 32.

---

*Демонстрации:* Последовательное и параллельное соединение ламп накаливания.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 40; № 33—40.

---

**Урок № 3/63. Работа и мощность тока**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Работа тока. Закон Джоуля — Ленца. § 41 (п. 1); № 1—4.

---

2. Применение закона Джоуля — Ленца к последовательно и параллельно соединённым проводникам. § 41 (п. 2); № 5—8.

---

3. Мощность тока. § 41 (п. 3); № 13—17.

---

*Демонстрации:*

Нагревание проводника электрическим током.

Применение закона Джоуля — Ленца к последовательно и параллельно соединённым проводникам.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 41; № 21, 23—25, 28—30. Подготовиться к лабораторной работе (с. 201—202).

---

**Урок № 4/64. Лабораторная работа № 6 «Мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 7 «Мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 41; № 22, 26, 27, 31, 32.

---

**Урок № 5/65. Закон Ома для полной цепи**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Источник тока. § 42 (п. 1).

---

2. Закон Ома для полной цепи. § 42 (п. 2); № 4, 7, 12

---

3. КПД источника тока. § 42 (п. 3).

---

4. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Постоянный ток».

---

*Демонстрации:*

Измерение ЭДС и источника тока.

Зависимость напряжения на зажимах источника от сопротивления нагрузки.

Определение внутреннего сопротивления источника.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 42; № 16—19, 21, 24. Подготовиться к лабораторной работе (с. 202—203).

---

**Урок № 6/66. Лабораторная работа № 7 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 8 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 41; № 23, 26.

---

**Урок № 7/67. Электрический ток в жидкостях, газах, вакууме и полупроводниках**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Электрический ток в электролитах. § 44 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Закон электролиза (закон Фарадея). § 44 (п. 2); № 3.

---

3. Применение электролиза. § 44 (п. 3).

---

4. Электрический ток в газах и вакууме. § 44 (п. 4); № 5, 6.

---

5. Плазма. § 44 (п. 5).

---

6. Полупроводники. § 45 (п. 1); № 1.

---

7. Примесная проводимость полупроводников. § 45 (п. 2); № 2.

---

*Демонстрации:*

Электролиз раствора медного купороса.  
Тлеющий разряд, коронный разряд.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 44 (пп. 1—3); № 7, 8. § 45; № 4, 5. *Экспериментальное задание:* Прикоснитесь языком к клеммам плоской батарейки<sup>1)</sup>. Опишите и объясните ваши ощущения. Сравните ваши ощущения в данном опыте с кисловатым вкусом газированной воды или разбавленного пищевого уксуса. Ответьте на вопрос: почему кислоты называют кислотами?

---

1) Батарейку в этом опыте желательно использовать не новую.

**Урок № 8/68. Контрольная работа № 5 «Постоянный электрический ток»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Электростатика. Постоянный электрический ток».

---

*Материалы для домашнего задания:* провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

**Резерв учебного времени (2 ч)**

## Примерное содержание уроков (углублённый уровень)

### Физика и естественнонаучный метод познания природы (2 ч)

Урок № 1/1. Физика — фундаментальная наука о природе

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Научный метод познания.

---

2. Моделирование явлений и процессов. Введение № 1.

---

3. Физические законы и физические теории. Введение № 2.

---

4. Действия с векторными величинами. § 1 (п. 4); № 15.

---

*Материалы для домашнего задания:* Введение. § 1 (п. 4); № 16.

---

**Урок № 2/2. Роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в практической деятельности людей**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в практической деятельности людей. Введение.

---

2. Действия с векторными величинами. § 1 (п. 4); № 17, 18.

---

*Материалы для домашнего задания:* Введение, § 1 (п. 4).

---

## Глава I. Кинематика (24 ч)

**Урок № 1/3. Система отсчёта, траектория, путь и перемещение**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Система отсчёта. § 1 (п. 1); № 1.

---

2. Материальная точка. § 1 (п. 2); № 2, 3.

---

3. Траектория, путь, перемещение. § 1 (пп. 3, 6); № 4, 5, 9—14, 20, 21.

---

4. «Золотое правило» решения задач. § 1 (п. 5).

---

*Демонстрации:*

Демонстрация пути и перемещения на вращающемся диске.

Демонстрация относительности движения и покоя, скорости и перемещения.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 1; № 22, 25, 26, 29—32. *Экспериментальное задание*<sup>1)</sup>: Придумайте способы записи траекторий движения тела, участвующего одновре-

---

<sup>1)</sup> За выполнение домашнего экспериментального задания можно поставить дополнительную отметку.

менно: а) в двух прямолинейных движениях; б) в прямолинейном и вращательном движении.

---

### Урок № 2/4. Прямолинейное равномерное движение

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Скорость. § 2 (п. 1); № 1—3.

---

2. График зависимости координаты тела от времени. § 2 (п. 2); № 4, 5, 25.

---

*Демонстрации:* Равномерное движение заводной машинки по столу.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 2 (пп. 1, 2); № 23, 24, 28, 29, 33.

---

### Урок № 3/5. Средняя скорость

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Средняя скорость. § 2 (п. 3); № 6, 7.

---

2. *Исследование ключевой ситуации «Средняя скорость на двух участках движения».* § 2 (п. 3, 5); № 8—14, 17.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 2 (пп. 1—3, 5); № 18, 26, 34.

---

**Урок № 4/6. Сложение скоростей при движении вдоль одной прямой**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Сложение скоростей при движении вдоль одной прямой. § 2 (п. 4); № 15, 16, 19.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа<sup>1)</sup> по § 1, 2 (пп. 1—3).

---

*Демонстрации:* Демонстрация сложения скоростей.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 2 (п. 4); № 27, 30, 31, 35.

---

**Урок № 5/7. Сложение скоростей при движении на плоскости**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Сложение скоростей при движении на плоскости. § 2 (п. 6); № 19, 21.

---

*Демонстрации:* Сложение скоростей при движении на плоскости — с помощью средств ИКТ.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 2 (п. 6); № 20, 22, 32, 36.

---

---

<sup>1)</sup> Задания для самостоятельных и контрольных работ содержатся в «Тетради для самостоятельных и контрольных работ» издательства «БИНОМ. Лаборатория знаний».

**Урок № 6/8. Решение задач по теме «Прямолинейное равномерное движение»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Прямолинейное равномерное движение».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Сложение скоростей».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 1, 2.

---

**Урок № 7/9. Прямолинейное равноускоренное движение**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Зависимость скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении. § 3 (п. 1); № 1—4.

---

2. График зависимости скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении. § 3 (п. 2), № 5—7.

---

*Демонстрации:* Демонстрация скатывания шарика по наклонной плоскости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3 (пп. 1, 2); № 28—31.

---

**Урок № 8/10. Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении. § 3 (п. 3).

---

2. *Исследование ключевой ситуации* «Перемещение при движении без начальной скорости». § 3 (п. 3); № 8, 9.

---

3. *Исследование ключевой ситуации* «Перемещение при движении с начальной скоростью». § 3 (п. 3); № 10—12.

---

*Демонстрации:* Демонстрация движения шарика по наклонному жёлобу вверх и вниз.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3; № 32, 34.

---

**Урок № 9/11. Соотношение между путём и скоростью**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Соотношение между путём и скоростью. § 3 (п. 3); № 13—16.

---

2. Тормозной путь. § 3 (п. 3); № 18, 19.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3 (пп. 1—3); № 29, 39.

---

**Урок № 10/12. Более сложные задачи о равноускоренном движении**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Более сложные задачи о равноускоренном движении.  
§ 3 (п. 4); № 22—26.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3 (п. 1—4); № 35, 36, 40.

---

**Урок № 11/13. Решение задач по теме «Прямолинейное равноускоренное движение»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Прямолинейное равноускоренное движение».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Прямолинейное равноускоренное движение».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 3; № 37, 41.

---

**Урок № 12/14. Свободное падение тела**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Свободное падение. § 4 (п. 1); № 1—8.

---

2. Последний этап падения тела. § 4 (п. 5); № 51, 52.

---

*Демонстрации:* Опыт с трубкой Ньютона. § 4 (п. 1).

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4; № 53, 60, 67.

---

**Урок № 13/15. Движение тела, брошенного вертикально вверх**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

3. *Исследование ключевой ситуации* «Движение тела, брошенного вертикально вверх». § 4 (п. 2); № 9—24.

---

*Демонстрации:* Движение тела, брошенного вертикально вверх.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (п. 2); № 58, 61, 68.

---

**Урок № 14/16. Решение задач по теме «Свободное падение»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Свободное падение».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Свободное падение».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (пп. 1—2); № 25, 59.

---

**Урок № 15/17. Движение тела, брошенного горизонтально**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Движение тела, брошенного горизонтально». § 4 (п. 3); № 26—28, 30—34.

---

2. Траектория движения. § 4 (п. 3); № 36—37.

---

*Демонстрации:* Одновременное падение тел: брошенного горизонтально и свободно падающего с той же высоты без начальной скорости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (п. 3); № 29, 35, 62.

---

**Урок № 16/18. Погрешность прямого и косвенного измерения**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Оценка погрешностей прямых измерений. С. 235—236; № 1—3.

---

2. Оценка погрешностей косвенных измерений. С. 236; № 4.

---

3. Погрешность многократного прямого измерения. С. 237.

---

4. Погрешности электроизмерительных приборов. С. 238; № 5.

---

5. Нанесение результатов измерений на координатную плоскость с учётом погрешностей. С. 238.

---

*Материалы для домашнего задания:* с. 235—238. Подготовиться к лабораторной работе (с. 239—241).

---

**Урок № 17/19. Лабораторная работа № 1 «Изучение движения тела, брошенного горизонтально»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа<sup>1)</sup> № 1 «Изучение движения тела, брошенного горизонтально».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (пп. 1—3); № 51, 64.

---

**Урок № 18/20. Исследование ключевой ситуации «Движение тела, брошенного под углом к горизонту»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Движение тела, брошенного под углом к горизонту». § 4 (п. 4); № 38—41.

---

<sup>1)</sup> Работу целесообразно выполнять в «Тетради для лабораторных работ» издательства «БИНОМ. Лаборатория знаний».

2. Траектория движения. § 4 (п. 4); № 42, 43.

---

*Демонстрации:* Движение тела, брошенного под углом к горизонту.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (п. 4); № 63, 70.

---

**Урок № 19/21. Исследование ключевой ситуации «Движение тела, брошенного под углом к горизонту»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Время, дальность и высота полёта. § 4 (п. 4); № 44—50.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4 (п. 4); № 65, 66, 69.

---

**Урок № 20/22. Решение задач по теме «Движение тела, брошенного под углом к горизонту»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Одинаковая дальность полёта при двух разных углах бросания».* § 4 (п. 6); № 54, 55.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Движение тела, брошенного горизонтально и под углом к горизонту».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 4; № 56, 70, 71.

---

**Урок № 21/23. Равномерное движение по окружности**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Направление скорости тела при движении по окружности. § 5 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Ускорение тела при равномерном движении по окружности. § 5 (п. 2); № 3—9.

---

3. Частота обращения. § 5 (п. 3); № 10—17.

---

4. Угловая скорость. § 5 (п. 3); № 18—21.

---

*Демонстрации:* Направление скорости при движении по окружности.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 5 (пп. 1—3); № 29, 31, 34, 35.

---

**Урок № 22/24. Решение задач по теме «Равномерное движение по окружности»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Вращательное движение твёрдого тела. § 5 (п. 4); № 22, 23.

---

2. *Исследование ключевой ситуации «Катящееся без проскальзывания колесо»*. § 5 (п. 5); № 24, 25.

---

3. *Исследование ключевой ситуации «Конический маятник»*. § 5 (п. 6); № 27, 28.

---

*Демонстрации:*  
Катящееся колесо.  
Конический маятник.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 5; № 26, 32, 33, 36, 38, 39.

---

### **Урок № 23/25. Обобщающий урок «Кинематика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### **Содержание урока**

1. Повторение ключевых ситуаций кинематики.

---

2. Защита проектных работ.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 1—5; задания типовой контрольной работы<sup>1)</sup>.

---

---

1) Задания типовой контрольной работы содержатся в «Тетради для самостоятельных и контрольных работ» издательства «БИНОМ. Лаборатория знаний».

**Урок № 24/26. Контрольная работа № 1 «Кинематика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Кинематика».
- 

Материалы для домашнего задания: § 6 (пп. 1—3) изучить самостоятельно. Провести анализ решения заданий контрольной работы<sup>1)</sup>.

---

**Глава II. Динамика (27 ч)****Урок № 1/27. Три закона Ньютона**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Законы Ньютона. § 6 (пп. 1—3); № 1—8.
- 

2. Последовательные положения тела, на которое действует постоянная равнодействующая. § 6 (п. 4); № 9.

---

3. Графики зависимости скорости тела от времени и равнодействующая. § 6 (п. 5); № 11.

---

---

1) Полезно, чтобы после контрольной работы ученики дома решили те задания своего варианта, которые они не сделали на контрольной работе. За выполнение такой работы можно поставить дополнительную отметку. Те ученики, которые полностью выполнили все задания контрольной работы, в качестве домашней работы могут составить и решить от одной до трёх задач, похожих на задачи, предложенные в контрольной работе.

4. Движение тела под действием сил, направленных под углом друг к другу. § 6 (п. 6); № 13, 14, 23.

---

*Демонстрации:*

Проявление инерции: обрыв верхней и нижней нити под массивным грузом, скатывание шарика по наклонной плоскости с небольшим углом наклона и дальнейшее его движение по горизонтальной поверхности с различным типом покрытия и др.

Взаимодействие двух тележек равных масс.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 6, № 10, 12, 17, 18, 22, 24, 26, 28.

---

**Урок № 2/28. Закон всемирного тяготения**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Закон всемирного тяготения. § 7 (пп. 1, 5); № 1—6.

---

2. *Исследование ключевой ситуации* «Движение планет вокруг Солнца». § 7 (п. 2); № 7—13.

---

*Демонстрации:* Интерактивная задача «Закон всемирного тяготения» из единой коллекции цифровых образовательных ресурсов.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 7 (пп. 1, 2, 5); № 38—40, 43, 44.

---

**Урок № 3/29. Сила тяжести и закон всемирного тяготения**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Сила тяжести и закон всемирного тяготения. § 7 (п. 3); № 14—17.

---

2. Первая космическая скорость. § 7 (п. 4); № 19—21.

---

3. Третий закон Кеплера. § 7 (п. 6); № 25.

---

*Демонстрации:* Действие силы тяжести.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 7 (пп. 1—6); № 18, 41, 42, 45, 46, 49. *Экспериментальное задание:* Измерив массу своего тела на весах, определите массу Земли.

---

**Урок № 4/30. Исследование ключевой ситуации «Движение по круговой орбите под действием силы тяготения»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Средняя плотность планеты». § 7 (п. 7); № 27—29.

---

2. *Исследование ключевой ситуации* «Геостационарная орбита». § 7 (п. 8); № 32—36.

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Закон всемирного тяготения».

---

*Демонстрации:*

Демонстрация вращения спутника на низкой круговой орбите с помощью средств ИКТ.

Демонстрация движения по геостационарной орбите с помощью средств ИКТ.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 7; № 30, 31, 37, 47, 50.

---

**Урок № 5/31. Силы упругости**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Силы упругости и деформация тел. § 8 (п. 1).

---

2. Закон Гука. § 8 (п. 2); № 1—6.

---

3. Примеры сил упругости. § 8 (п. 3); № 7—10.

---

*Демонстрации:*

Наблюдение малых деформаций.

Деформация стеклянной колбы.

Деформация пружины.

Демонстрация видов деформации с помощью модели «гармошка».

Демонстрация набора пружин различной жёсткости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 8 (пп. 1—3); № 35, 36, 40, подготовиться к лабораторной работе (с. 241—242).

---

**Урок № 6/32. Лабораторная работа № 2 «Измерение жёсткости пружины»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 2 «Измерение жёсткости пружины».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 8 (пп. 1—3); № 37, 41, 46.

---

**Урок № 7/33. Вес тела, движущегося с ускорением**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Вес тела, движущегося с ускорением». § 8 (п. 4); № 11—20.

---

2. Невесомость. § 8 (п. 4); № 21—23.

---

*Демонстрации:*

Демонстрация изменения веса тела, движущегося с ускорением вверх и вниз.

Невесомость.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 8 (пп. 1—4); № 38, 39, 44, 45, 48, 49. *Экспериментальное задание:* К тонкой ре-

зинке подвесьте тяжёлый предмет. Поднимая и опуская верхний край резинки с ускорением, наблюдайте изменения, происходящие с ней. Какой вывод можно сделать по результатам этого эксперимента?

---

**Урок № 8/34. Решение задач по теме «Силы упругости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Удлинение и длина пружины. § 8 (п. 5); № 24.

---

2. *Исследование ключевой ситуации «Последовательное соединение пружин».* § 8 (п. 6); № 26, 28.

---

3. *Исследование ключевой ситуации «Параллельное соединение пружин».* § 8 (п. 7); № 29, 30.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 8 (пп. 1—7); № 25, 27, 31, 43, 47.

---

**Урок № 9/35. Исследование ключевой ситуации «Движение тела под действием силы упругости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Применение закона Гука для движения тела с ускорением. § 8 (п. 8); № 32, 33.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Силы упругости».

---

*Демонстрации:* Последовательное и параллельное соединение пружин.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 8; № 34, 42, 50.

---

### **Урок № 10/36. Силы трения**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Сила трения скольжения. § 9 (п. 1); № 1—4.

---

2. Сила трения покоя. § 9 (п. 2); № 6—9.

---

3. Другие виды сил трения. § 9 (п. 3).

---

*Демонстрации:*

Трение покоя и скольжения.

Замена трения скольжения на трение качения.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 9 (пп. 1—3); № 13, 15, 17, 18.

---

### **Урок № 11/37. Решение задач по теме «Силы трения»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Силы трения». § 9; № 5, 16, 21.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 9 (пп. 1—3); № 14, 18—20. *Экспериментальное задание:* Рассчитайте коэффициент трения колёс автомобиля по асфальту (или грунтовой дороге) при его торможении до полной остановки. Сравните расчётное значение коэффициента трения с табличными данными, приведёнными на форзаце учебника.

---

**Урок № 12/38. Исследование ключевой ситуации «Движение тела по горизонтальной поверхности»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Движение по горизонтали под действием силы, направленной под углом к горизонту».* § 9 (п. 4); № 10, 11.

---

*Демонстрации:*

Движение по горизонтали: сила направлена горизонтально.

Движение по горизонтали: сила направлена вверх под углом к горизонту.

Движение по горизонтали: сила направлена вниз под углом к горизонту

---

*Материалы для домашнего задания:* § 9, № 22, 24, 25.

---

**Урок № 13/39. Исследование ключевой ситуации «Движение тела по вертикальной поверхности»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Движение по вертикали под действием силы, направленной под углом к горизонту».* § 9 (п. 4); № 12.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Силы трения».

---

*Демонстрации:* Движение по вертикали.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 1; № 23, 26.

---

**Урок № 14/40. Решение задач по теме «Движение тела под действием различных сил»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Силы тяготения».

---

2. Решение задач по теме «Силы упругости».

---

3. Решение задач по теме «Силы трения».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 7—9.

---

**Урок № 15/41. Исследование ключевой ситуации «Тело на гладкой наклонной плоскости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Тело на гладкой наклонной плоскости». § 10 (п. 1); № 1—5.

---

*Демонстрации:* Демонстрация «Силы, действующие на тело, находящееся на гладкой наклонной плоскости» с помощью средств ИКТ.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 10 (п. 1); № 18, 21, 25.

---

**Урок № 16/42. Исследование ключевой ситуации «Тело на шероховатой наклонной плоскости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Условие покоя тела на шероховатой наклонной плоскости».* § 10 (п. 2); № 6—8.

---

2. *Исследование ключевой ситуации «Движение тела по наклонной плоскости вниз с учётом трения».* § 10 (п. 3); № 10, 11.

---

*Демонстрации:* Равновесие тела на наклонной плоскости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 10 (пп. 1—3); № 9, 12, 20, 26. *Экспериментальное задание:* Используя воронку и сыпучие материалы (соль, сахар, песок), измерьте угол, который они образуют с горизонтальной поверхностью при насыпании горкой. Как связана величина этого угла с коэффициентом трения покоя?

---

**Урок № 17/43. Решение задач по теме «Тело на наклонной плоскости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Движение вверх по наклонной плоскости». § 10 (п. 4); № 13.

---

2. Уменьшение скорости тела при движении по наклонной плоскости вниз. § 10 (п. 5); № 16.

---

*Демонстрации:* Движение вверх по наклонной плоскости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 10; № 14, 15, 17. Подготовиться к лабораторной работе (с. 242—244).

---

**Урок № 18/44. Лабораторная работа № 3 «Измерение коэффициента трения с помощью наклонной плоскости. Конструирование наклонной плоскости с заданным КПД»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Лабораторная работа № 3 «Измерение коэффициента трения с помощью наклонной плоскости. Конструирование наклонной плоскости с заданным КПД».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 10; № 22—24, 27.

---

**Урок № 19/45. Исследование ключевой ситуации «Поворот транспорта»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Поворот транспорта на горизонтальной дороге. § 11 (п. 1); № 1—4.

---

2. Поворот на наклонной дороге. § 11 (п. 3); № 12, 13.

---

*Демонстрации:* Тело на вращающемся диске.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 11 (п. 1); № 5, 14, 17, 19.

---

**Урок № 20/46. Исследование ключевой ситуации «Конический маятник»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Конический маятник».* § 11 (п. 2); № 6—11.

---

*Демонстрации:* Конический маятник.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 11 (пп. 1—3); № 18, 20, 21, 22, 25, 27. *Экспериментальное задание*<sup>1)</sup>: Измерьте период обращения конического маятника при нескольких значениях длины нити  $l$  и угла  $\alpha$ . Проверьте, согла-

---

1) За выполнение домашнего экспериментального задания можно поставить дополнительную отметку.

суются ли полученные результаты с выражением для периода обращения, полученным в задании № 10.

---

**Урок № 21/47. Исследование ключевой ситуации «Движение тела по окружности внутри полусферы и конуса»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Движение по окружности в полусфере и в конусе»*. § 11 (п. 4); № 15, 16.

---

*Материалы для домашнего задания: § 11; № 23, 24, 26.*

---

**Урок № 22/48. Исследование ключевой ситуации «Движение системы связанных тел в одном направлении»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Движение системы связанных тел в одном направлении»*. § 12 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Как исследовать движение системы тел? § 12 (п. 2).

---

*Демонстрации: Движение системы связанных тел в одном направлении.*

---

*Материалы для домашнего задания: § 12 (пп. 1, 2); № 13—16, 19.*

---

**Урок № 23/49. Исследование ключевой ситуации «Движение системы связанных тел в разных направлениях»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Движение системы связанных тел в разных направлениях»*. § 12 (п. 3); № 3—5.

---

2. Система с двумя блоками. § 12 (п. 4); № 7.

---

*Демонстрации:* Движение системы связанных тел в разных направлениях.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 12 (пп. 1—3); № 6, 8, 17.

---

**Урок № 24/50. Исследование ключевой ситуации «Движение системы тел при наличии наклонной плоскости и блока»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Движение системы тел при наличии наклонной плоскости и блока»*. § 12 (п. 5); № 9.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Движение системы тел».

---

*Демонстрации:* Движение системы тел при наличии наклонной плоскости и блока.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 12 (пп. 1—5); № 10, 18.

---

**Урок № 25/51. Исследование ключевой ситуации «Движение системы тел с учётом трения»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Движение системы тел с учётом трения».* § 12 (п. 6); № 11, 12.

---

*Демонстрации:*

Движение тел в различных направлениях: движение по вертикали и горизонтали, движение по наклонной плоскости.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 12; № 21—23.

---

**Урок № 26/52. Обобщающий урок «Динамика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Повторение ключевых ситуаций динамики.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 6—12; задания типовой контрольной работы.

---

**Урок № 27/53. Контрольная работа № 2 «Динамика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Динамика».
- 

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

**Глава III. Законы сохранения в механике (21 ч)****Урок № 1/54. Импульс. Закон сохранения импульса**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Импульс. § 13 (п. 1); № 1—6.
- 

2. Импульс силы. § 13 (п. 2); № 7—13.
- 

3. Закон сохранения импульса. § 13 (п. 3); № 14—17.
- 

*Демонстрации:* Демонстрация упругого и неупругого столкновений.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 13 (пп. 1—3); № 26—29, 31, 35.

---

**Урок № 2/55. Решение задач по теме «Импульс. Закон сохранения импульса»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Изменение импульса при движении по окружности. § 13 (п. 4); № 18.

---

2. Изменение импульса тела, движущегося под действием силы тяжести. § 13 (п. 5); № 20.

---

3. Изменение импульса тела и импульс равнодействующей приложенных к телу сил. § 13 (п. 6); № 22.

---

4. Использование закона сохранения импульса при столкновении тел. § 13 (п. 7); № 24.

---

*Материалы для домашнего задания: § 13; № 19, 21, 23, 25, 30, 33, 34, 36, 37.*

---

**Урок № 3/56. Условия применения закона сохранения импульса**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Внутренние и внешние силы. § 14 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Внешние силы уравнивают друг друга или ими можно пренебречь. § 14 (п. 2); № 3—5.

---

3. Проекция внешних сил на некоторую ось координат равна нулю. § 14 (п. 3); № 6.

---

4. Удары, столкновения, разрывы, выстрелы. § 14 (п. 4); № 7—10.

---

*Демонстрации:* Упругий и неупругий удары.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 14 (пп. 1—4); № 17—19, 23, 24, 28.

---

**Урок № 4/57. Примеры сохранения только проекции импульса**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Применение закона сохранения импульса к движению системы тел. § 14 (п. 5); № 11, 12.

---

2. Примеры сохранения только проекции импульса. § 14 (п. 6); № 13, 14.

---

3. Комбинированные задачи с использованием закона сохранения импульса. § 14 (п. 7); № 15, 16.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 14 (пп. 5, 6); № 20—22, 25—27, 29.

---

**Урок № 5/58. Реактивное движение. Освоение космоса**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Реактивное движение. § 15 (п. 1); № 1—4.

---

2. Развитие ракетостроения. Освоение космоса. § 15 (п. 2).

---

3. Изменение скорости ракеты при неоднократных выбросах газа». § 15 (п. 3); № 5.

---

4. Изменение скорости ракеты вследствие отделения ступени». § 15 (п. 3); № 7.

---

5. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Импульс. Закон сохранения импульса».

---

*Демонстрации:* Движение воздушного шарика.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 15; № 6, 8, 13, 14, 15, 17, 19, 20.

---

**Урок № 6/59. Механическая работа, мощность**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Определение работы. § 16 (п. 1); № 1—4.

---

2. Работа силы тяжести. § 16 (п. 2); № 5—12.

---

3. Работа силы упругости. § 16 (п. 3); № 13—19.

---

4. Работа силы трения. § 16 (п. 4); № 21—22.

---

5. Мощность. § 16 (п. 5); № 23—27.

---

*Демонстрации:*

Возвращение пружины в недеформированное состояние.

Движение бруска по столу после толчка до остановки.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 16 (пп. 1—5); № 20, 34—36, 38, 40, 42, 46.

---

**Урок № 7/60. Решение задач по теме «Механическая работа, мощность»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Работа равнодействующей нескольких сил. § 16 (п. 6); № 28.

---

2. Работа по подъёму цепи. § 16 (п. 7); № 30.

---

3. Работа при подъёме тела на пружине. § 16 (п. 8); № 32.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 16; № 29, 31, 33, 44, 47, 48.

---

### **Урок № 8/61. Потенциальная энергия**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Связь энергии и работы. § 17 (п. 1); № 1—4.

---

2. Потенциальная энергия. § 17 (п. 2); № 5—9.

---

*Демонстрации:* Совершение работы деформированной пружиной, поднятым телом.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 17 (пп. 1, 2); № 21—23, 28, 33, 34.

---

### **Урок № 9/62. Кинетическая энергия**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Кинетическая энергия. § 17 (п. 3); № 10—13.

---

2. Теорема об изменении кинетической энергии. § 17 (п. 3); № 14—16.

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Механическая работа и энергия».

---

*Демонстрации:* Совершение работы за счёт кинетической энергии.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 17 (пп. 1—3); № 24—26, 29.

---

**Урок № 10/63. Применение теоремы об изменении кинетической энергии к рассмотрению ключевых ситуаций**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Применение теоремы об изменении кинетической энергии при движении по криволинейной траектории и по наклонной плоскости. § 17 (п. 4); № 17, 18.

---

2. Применение теоремы об изменении кинетической энергии при наличии выталкивающей силы. § 17 (п. 5); № 19, 20.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 17; № 31, 32, 35, 36.

---

**Урок № 11/64. Закон сохранения энергии в механике**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Механическая энергия и закон сохранения энергии в механике. § 18 (п. 1); № 1—5.

---

2. Примеры применения закона сохранения энергии в механике. § 18 (п. 2); № 6—8.

---

3. Изменение механической энергии вследствие трения скольжения. § 18 (п. 3); № 11, 12.

---

4. Общий закон сохранения энергии. § 18 (п. 4); № 13.

---

*Демонстрации:* Изменение механической энергии вследствие трения.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 18 (пп. 1—4); № 9, 10, 20—23, 25—27, 30, 31. *Экспериментальное задание:* Изготовьте из подручных средств «мёртвую петлю». Рассчитайте минимальную высоту, с которой шарик должен начать движение, чтобы не сорваться в верхней точке траектории при движении по окружности заданного радиуса. Сравните результаты расчётов с экспериментальными данными.

---

**Урок № 12/65. Решение задач по теме «Закон сохранения энергии в механике»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Применение закона сохранения энергии к неравномерному движению по окружности». § 18 (п. 5); № 14.

---

2. Применение закона сохранения энергии к движению тела под действием нескольких сил. § 18 (п. 6); № 16, 18.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 18; № 15, 17, 19, 32, 33.

---

**Урок № 13/66. Исследование ключевой ситуации «Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Нормальное и тангенциальное ускорение. § 19 (п. 1); № 1.

\_\_\_\_\_

2. Движение груза, подвешенного на нити. § 19 (п. 2); № 2—4.

\_\_\_\_\_

*Демонстрации:* Вращение груза на нити и стержне.

\_\_\_\_\_

*Материалы для домашнего задания:* § 19 (пп. 1, 2); № 5, 6, 12, 16.

\_\_\_\_\_

**Урок № 14/67. Исследование ключевой ситуации «Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации* «Движение по мёртвой петле». § 19 (п. 3); № 7—9.

\_\_\_\_\_

2. *Исследование ключевой ситуации* «Соскальзывание с полусферы». § 19 (п. 4); № 10, 11.

\_\_\_\_\_

*Демонстрации:*  
Движение по мёртвой петле.

Соскальзывание тела с полусферы.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 19; № 13—15, 17, 18.

---

**Урок № 15/68. Исследование ключевых ситуаций «Разрыв снаряда в полёте», «Баллистический маятник»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Разрыв снаряда в полёте».* § 20 (п. 1); № 1, 2.

---

2. *Исследование ключевой ситуации «Баллистический маятник».* § 20 (п. 2); № 4, 5.

---

*Демонстрации:*

Неупругий удар.

Упругий удар.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 20 (пп. 1, 2); № 3, 9, 10, 13.

---

**Урок № 16/69. Исследование ключевой ситуации «Движение гладкой горки и шайбы»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. *Исследование ключевой ситуации «Гладкая горка и шайба».* § 20 (п. 3); № 6—8.

---

*Демонстрации:* Движение системы тел.

*Материалы для домашнего задания:* § 20; № 12, 15. Подготовиться к лабораторной работе (с. 244—245).

---

**Урок № 17/70.** Лабораторная работа № 4 «Определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути»

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 4 «Определение кинетической энергии и импульса тела по тормозному пути».

---

*Материалы для домашнего задания:* Подготовиться к лабораторной работе (с. 245—247).

---

**Урок № 18/71.** Лабораторная работа № 5 «Нахождение изменения механической энергии с учётом действия силы трения скольжения»

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 5 «Нахождение изменения энергии в механике с учётом действия силы трения скольжения».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 20; № 11, 14.

---

**Урок № 19/72.** Движение жидкостей и газов

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Давление в потоке жидкости и газа. § 21 (п. 1); № 1—3.

---

---

2. Уравнение Бернулли. § 21 (п. 2); № 4—6.

---

*Материалы для домашнего задания: § 21. Экспериментальное задание:* Изготовьте из цилиндров одноразовых шприцев, отрезка трубки от системы для переливания крови и стержней гелевых ручек трубу переменного сечения (см. рис. 21.1). Проверьте с её помощью, в какой части трубы давление больше: в узкой или в широкой.

---

**Урок № 20/73. Обобщающий урок «Законы сохранения в механике»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Повторение ключевых ситуаций по теме «Законы сохранения в механике».

---

2. Защита проектных работ.

---

*Материалы для домашнего задания: § 13—21; задания типовой контрольной работы.*

---

**Урок № 21/74. Контрольная работа № 3 «Законы сохранения в механике»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Законы сохранения в механике».

---

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

## Глава IV. Статика и гидростатика (6 ч)

### Урок № 1/75. Условия равновесия тела

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Первое условие равновесия. § 22 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Условие равновесия тела, закреплённого на оси. § 22 (п. 2); № 3—6.

---

3. Второе условие равновесия. § 22 (п. 3); № 7, 8.

---

*Демонстрации:* Поворот тела под действием двух сил.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 22 (пп. 1—3); № 11, 12, 15, 16, 19—21.

---

### Урок № 2/76. Применение условий равновесия тела к однородному стержню

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Применение условий равновесия тела к однородному стержню. § 22 (п. 4); № 9, 10.

---

*Демонстрации:* Лестница у стены.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 22; № 13, 14, 17, 18, 22. *Экспериментальное задание:* Используя линейку, спичечный коробок и упаковку таблеток аскорбиновой кислоты с глюкозой (масса таблеток указана на упаковке), определите массу спичечного коробка.

---

### Урок № 3/77. Центр тяжести. Виды равновесия

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Центр тяжести. § 23 (п. 1); № 1—3.

---

2. Центр тяжести системы нескольких материальных точек. § 23 (п. 2); № 4.

---

3. Виды равновесия. § 23 (п. 3); № 6.

---

4. Какую работу надо совершить для изменения положения тела? § 23 (п. 4); № 7.

---

5. Применение условий равновесия тела к однородному стержню. § 23 (п. 5); № 8.

---

*Демонстрации:* Нахождение центра тяжести для тела произвольной формы.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 23; № 5, 9—12, 15, 16, 18—21. *Экспериментальное задание:* Используя ли-

нейку, спичечный коробок и ручку, определите значение максимального коэффициента трения покоя между спичечным коробком и обложкой книги *методом опрокидывания*.

---

### Урок № 4/78. Равновесие жидкости и газа

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Зависимость давления жидкости от глубины. § 24 (п. 1); № 1—4.

---

2. Закон Архимеда. § 24 (п. 2); № 6—7.

---

3. Плавание тел. § 24 (п. 3); № 9, 10, 12, 13.

---

4. Воздухоплавание. § 24 (п. 4); № 15—16.

---

5. Действительно ли погружённое в воду тело «теряет в весе»? § 24 (п. 5); № 18—21.

---

#### *Демонстрации:*

Зависимость давления жидкости от глубины.

Сообщающиеся сосуды с однородной жидкостью.

Сообщающиеся сосуды с разнородными жидкостями.

Плавание тел.

Теряет ли в весе погружённое в воду тело? § 24, рис. 24.4.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 24; № 5, 8, 11, 14, 17, 22—24.

---

**Урок № 5/79. Решение задач по теме «Равновесие жидкости и газа»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач. § 24; № 26, 28, 30, 31.
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 22—24; задания типовой контрольной работы.

---

**Урок № 6/80. Контрольная работа № 4 «Статика и гидростатика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Статика и гидростатика».
- 

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

**Глава V. Молекулярная физика (19 ч)****Урок № 1/81. Строение вещества**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. § 25 (п. 1); № 1—5.
-

2. Основная задача молекулярно-кинетической теории.  
§ 25 (п. 2).

---

3. Агрегатные состояния вещества. § 25 (п. 3); № 6.

---

*Демонстрации:*

Механическая модель броуновского движения.

Диффузия в газах и жидкостях.

Взаимодействие молекул.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 25 (пп. 1—3);  
№ 23, 24, 26, 31.

---

**Урок № 2/82. Количество вещества**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Количество вещества. § 25 (п. 4); № 7—14, 25.

---

2. Молярная масса. § 25 (п. 5); № 16—19, 21.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 25; № 20, 22, 27,  
28, 32, 34, 36, 37.

---

**Урок № 3/83. Изобарный и изохорный процессы**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Изобарный процесс. § 26 (п. 1); № 1—7.

---

2. Изохорный процесс. § 26 (п. 2); № 8—10.

---

*Демонстрации:*

Зависимость объёма от температуры при постоянном давлении.

Зависимость давления от температуры при постоянном объёме.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26 (пп. 1, 2); № 17, 18, 21—24, 31—33.

---

**Урок № 4/84. Изотермический процесс**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Изотермический процесс. § 26 (п. 3); № 11—13.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Изобарный и изохорный процессы».

---

*Демонстрации:* Зависимость давления от объёма при постоянной температуре.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26 (пп. 1—3); № 19, 20, 26—28. Подготовиться к лабораторной работе (с. 193—194).

---

**Урок № 5/85. Лабораторная работа № 6 «Опытная проверка закона Бойля — Мариотта»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 6 «Опытная проверка закона Бойля — Мариотта».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26. Подготовиться к лабораторной работе (с. 194—195).

---

**Урок № 6/86. Лабораторная работа № 7 «Опытная проверка закона Гей-Люссака»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 7 «Опытная проверка закона Гей-Люссака».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26. *Экспериментальное задание:* из подручных средств изготовьте термометр (по возможности проградуируйте его).

---

**Урок № 7/87. Решение задач по теме «Изопроцессы»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Изопроцессы».

---

2. Газовые процессы, не являющиеся изопроцессами. § 26 (п. 4); № 14—16.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 26; № 29, 30, 34.

---

### **Урок № 8/88. Уравнение Клапейрона**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Уравнение Клапейрона. § 27 (п. 1); № 1—3.

---

2. Применение уравнение Клапейрона в более сложных случаях. § 27 (п. 2); № 4—8.

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Изопроцессы».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 27 (пп. 1, 2); № 21—23, 30, 31, 36.

---

### **Урок № 9/89. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона)**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона). § 27 (п. 3); № 9—16.

---

2. Применение уравнения Менделеева — Клапейрона в более сложных случаях. § 27 (п. 4); № 17, 18.

---

3. Закон Дальтона. § 27 (п. 5); № 20.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 27; № 19, 24—26, 32, 33, 37.

---

**Урок № 10/90. Решение задач по теме «Уравнение состояния идеального газа»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Уравнение Менделеева — Клапейрона».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 27; № 27—29, 34, 35, 38.

---

**Урок № 11/91. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. § 28 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа. § 28 (п. 4); № 12—15.

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Уравнение состояния идеального газа».

---

*Демонстрации:* Механическая модель давления газа.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 28 (пп. 1, 4); № 16, 18, 21, 22.

---

**Урок № 12/92. Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул. § 28 (п. 2); № 3, 4.

---

2. Скорости молекул. § 28 (п. 3); № 5—11.

---

*Демонстрации:* Модель опыта Штерна.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 28; № 17, 19, 22, 23, 26.

---

**Урок № 13/93. Решение задач по теме «Основное уравнение молекулярно-кинетической теории»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Основное уравнение молекулярно-кинетической теории».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 28; № 20, 24, 27.

---

**Урок № 14/94. Насыщенный пар**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Насыщенный и ненасыщенный пар. § 29 (п. 1); № 1.

---

2. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. § 29 (п. 2); № 2.

---

3. Кипение. § 29 (п. 3); № 3—5.

*Демонстрации:*

Уменьшение температуры тела при испарении.

Особенности испарения.

Конденсация водяного пара.

Зависимость температуры кипения от внешнего давления.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 29 (пп. 1—3); № 12—14, 21—23, 27.

---

**Урок № 15/95. Влажность**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Влажность воздуха. § 29 (п. 4); № 6.

---

2. Измерение влажности воздуха. § 29 (п. 4); № 7—11.

---

*Демонстрации:*

Точка росы.

Измерение влажности воздуха с помощью психрометра.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 29; № 15, 16, 25, 26, 29. Подготовиться к лабораторной работе (с. 196).

---

**Урок № 16/96. Лабораторная работа № 8 «Исследование скорости остывания воды»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Лабораторная работа № 8 «Исследование скорости остывания воды».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 29; № 17, 18, 27.

---

**Урок № 17/97. Решение задач по теме «Насыщенный пар. Влажность»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Решение задач по теме «Насыщенный пар. Влажность».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Насыщенный пар. Влажность воздуха».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 29; № 19, 20, 28, 30.

---

**Урок № 18/98. Свойства жидкостей и твёрдых тел**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Модель строения жидкостей. § 30 (п. 1); № 1.  
\_\_\_\_\_2. Поверхностное натяжение. § 30 (п. 2); № 2—5.  
\_\_\_\_\_3. Модель строения твёрдых тел. § 30 (п. 3).  
\_\_\_\_\_4. Механические свойства твёрдых тел. § 30 (п. 4);  
№ 6—11.  
\_\_\_\_\_*Демонстрации:*

Поверхностное натяжение жидкости.

Капиллярные явления.  
\_\_\_\_\_*Материалы для домашнего задания:* § 30; № 12—14.  
Подготовиться к лабораторной работе (с. 197).  
\_\_\_\_\_**Урок № 19/99. Лабораторная работа № 9 «Измерение модуля Юнга»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 9 «Измерение модуля Юнга».  
\_\_\_\_\_*Материалы для домашнего задания:* § 30. *Экспериментальное задание:* Проведите в домашних условиях эксперимент, демонстрирующий капиллярные явления. Проведение эксперимента сопроводите фото- и видеосъёмкой.  
\_\_\_\_\_

**Глава VI. Термодинамика (15 ч)****Урок № 1/100. Внутренняя энергия**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Внутренняя энергия и способы её изменения. § 31 (п. 1); № 1—3.

---

2. Как внутреннюю энергию частично превратить в механическую? § 31 (п. 2).

---

3. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Свойства жидкостей и твёрдых тел».

---

*Демонстрации:*

Способы изменения внутренней энергии.

Воздушное огниво.

*Материалы для домашнего задания:* § 31 (пп. 1, 2); № 23—25, 34, 35.

---

**Урок № 2/101. Первый закон термодинамики**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Первый закон термодинамики. § 31 (п. 3).

---

2. Адиабатный процесс. § 31 (п. 4); № 4—7.

---

3. Следствия первого закона термодинамики для изопроцессов. § 31 (п. 5); № 8—22.

---

*Демонстрации:*  
Адиабатный процесс.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 31; № 26, 27, 30, 31, 33.

---

**Урок № 3/102. Решение задач по теме «Первый закон термодинамики»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Первый закон термодинамики».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Первый закон термодинамики».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 31; № 28, 29, 32.

---

**Урок № 4/103. Применение первого закона термодинамики к газовым процессам**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Изменение внутренней энергии газа. § 32 (п. 1); № 1—6, 8.

---

2. Работа газа. § 32 (п. 2); № 9—13.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 32 (пп. 1, 2); № 7, 17—19, 22, 23, 25, 27—29.

---

**Урок № 5/104. Исследование ключевой ситуации «Циклический газовый процесс»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Циклические процессы. § 32 (п. 3); № 14—16.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 32; № 30—32.

---

**Урок № 6/105. Решение задач по теме «Применение первого закона термодинамики к газовым процессам»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Применение первого закона термодинамики к газовым процессам».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Применение первого закона термодинамики к газовым процессам».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 32; № 20, 21, 26, 33.

---

**Урок № 7/106. Принцип действия и основные элементы теплового двигателя. Второй закон термодинамики**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Принцип действия и основные элементы теплового двигателя. § 33 (п. 1).

---

2. КПД теплового двигателя. § 33 (п. 2), № 1—3.

---

3. Второй закон термодинамики. § 33 (п. 4).

---

4. Энергетический и экологический кризисы. § 33 (п. 5).

---

*Демонстрации:*

Модель паровой машины и турбины.

Модель двигателя внутреннего сгорания.

*Материалы для домашнего задания:* § 33 (пп. 1, 2, 4, 5); № 6—9, 12—13.

---

**Урок № 8/107. Примеры расчёта КПД циклов**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Пример расчёта КПД цикла. § 33 (п. 3); № 4, 5.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 33; № 15—18.

---

**Урок № 9/108. Решение задач по теме «Тепловые двигатели»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Решение задач по теме «Тепловые двигатели».
- 

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Тепловые двигатели».
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 33; № 10, 11, 14, 19, 20.

---

**Урок № 10/109. Фазовые переходы**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Плавление и кристаллизация. § 34 ( п. 1); № 1—5.
- 

2. Парообразование и конденсация. § 34 (п. 2); № 6—11.
- 

*Демонстрации:*

Плавление и отвердевание.

Парообразование и конденсация.

*Материалы для домашнего задания:* § 34 (пп. 1, 2); № 16—18, 22.

---

**Урок № 11/110. Исследование ключевой ситуации «Установление теплового равновесия при наличии фазовых переходов»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Уравнение теплового баланса при наличии фазовых переходов. § 34 (п. 3); № 12—15.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 34; № 19—21, 23.

---

**Урок № 12/111. Решение задач по теме «Фазовые переходы»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Фазовые переходы».

- 
2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Фазовые переходы».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 34; № 24, 25. Подготовиться к лабораторной работе (с. 198—199).

---

**Урок № 13/112. Лабораторная работа № 10 «Измерение удельной теплоты плавления льда»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 10 «Измерение удельной теплоты плавления льда».
-

*Материалы для домашнего задания: § 25—34.*

---

**Урок № 14/113. Обобщающий урок «Молекулярная физика. Тепловые явления»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по главам «Молекулярная физика и термодинамика».

---

2. Защита проектных работ.

---

*Материалы для домашнего задания:* Повторить ключевые ситуации по теме «Молекулярная физика. Тепловые явления». Задания типовой контрольной работы.

---

**Урок № 15/114. Контрольная работа № 5 «Молекулярная физика. Тепловые явления»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Молекулярная физика. Тепловые явления».

---

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

**Глава VII. Электростатика (18 ч)****Урок № 1/115. Электрические взаимодействия**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Два знака электрических зарядов. § 35 (п. 1); № 1.

---

2. Носители электрического заряда. Закон сохранения электрического заряда. § 35 (п. 2); № 2—4.

---

3. Электризация через влияние. Перераспределение зарядов. § 35 (п. 3); № 5—7.

---

4. Единица электрического заряда. Элементарный электрический заряд. § 35 (п. 4); № 8.

---

*Демонстрации:*

Электризация трением и соприкосновением.

Взаимодействие наэлектризованных тел.

Электризация через влияние.

Притяжение незаряженного тела к заряженному.

Закон сохранения электрического заряда.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 35 (пп. 1—4); № 17—24, 28—30, 35, 36. *Экспериментальное задание:* Изготовьте из подручных средств электроскоп и проделайте с ним опыты по электризации электроскопа соприкосновением и через влияние. Сделайте в тетради схематические рисунки, поясняющие перераспределение зарядов в этих случаях.

---

**Урок № 2/116. Закон сохранения электрического заряда.  
Закон Кулона**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Закон Кулона. § 35 (п. 5); № 9, 10.

2. Более сложные задачи на применение закона Кулона.  
§ 35 (п. 6); № 11—16.*Демонстрации:* Опыт Кулона.*Материалы для домашнего задания:* § 35; № 25—27,  
31, 37.**Урок № 3/117. Решение задач по теме «Закон Кулона»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Закон Кулона».

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме  
«Электризация тел. Закон Кулона».*Материалы для домашнего задания:* § 35; № 32—34, 36,  
38, 39.

**Урок № 4/118. Напряжённость электрического поля**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Напряжённость электрического поля. § 36 (п. 1); № 1—6.

---

2. Линии напряжённости. § 36 (п. 2); № 11—18.

---

*Демонстрации:*

Линии напряжённости электростатического поля.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 36 (пп. 1, 2); № 21, 22, 25, 27.

---

**Урок № 5/119. Принцип суперпозиции полей**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Принцип суперпозиции полей. § 36 (п. 1); № 7—10.

---

2. Поле равномерно заряженной сферы. § 36 (п. 3); № 19, 20.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 36; № 23, 24, 26, 28, 29, 33—35.

---

**Урок № 6/120. Решение задач по теме «Напряжённость электростатического поля»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Напряжённость электростатического поля».

*Материалы для домашнего задания:* § 37; № 30—32, 36, 37.

**Урок № 7/121. Проводники в электрическом поле**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Проводники в электрическом поле. § 37 (п. 1); № 1.

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Напряжённость электростатического поля».

*Демонстрации:*

Проводники.

Электростатическая защита.

*Материалы для домашнего задания:* § 37 (п. 1); № 8, 9, 17.

**Урок № 8/122. Диэлектрики в электрическом поле**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Диэлектрики в электрическом поле. § 37 (п. 2); № 2—5.
- 

2. Равновесие подвешенных на нитях заряженных шариков в воздухе и в жидком диэлектрике. § 37 (п. 3); № 6, 7.
- 

*Демонстрации:* Диэлектрики.*Материалы для домашнего задания:* § 37 (пп. 1—3); № 10—14, 18.**Урок № 9/123. Решение задач по теме «Проводники и диэлектрики в электрическом поле»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Проводники и диэлектрики в электрическом поле».
- 

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Проводники и диэлектрики в электрическом поле».
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 37; № 15, 16, 19.

**Урок № 10/124. Работа электрического поля**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Работа поля при перемещении заряда. § 38 (п. 1); № 1—5.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 38 (п. 1); № 20, 21, 25.

---

**Урок № 11/125. Разность потенциалов**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Разность потенциалов (напряжение). § 38 (п. 2); № 6—10.

---

*Демонстрации:* Измерение разности потенциалов.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 38; (п. 2); № 22, 23.

---

**Урок № 12/126. Соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля. § 38 (п. 3); № 11—13.

---

2. Эквипотенциальные поверхности. § 38 (п. 4); № 14—16.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 38 (пп. 1—4); № 24, 26—29.

---

**Урок № 13/127. Исследование ключевой ситуации «Движение заряженной частицы в однородном электрическом поле»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Движение заряженной частицы в однородном электрическом поле. § 38 (п. 5); № 17—19.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение)».

---

*Демонстрации:* Демонстрация движения заряженной частицы вдоль линий напряжённости с помощью средств ИКТ.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 38; № 30—32.

---

**Урок № 14/128. Электроёмкость. Энергия электрического поля**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Электроёмкость. § 39 (п. 1); № 1—9.

---

2. Энергия электрического поля. § 39 (п. 2); № 10—15.

---

*Демонстрации:*

Зависимость электроёмкости плоского конденсатора от его геометрических размеров и вида диэлектрика.

Виды конденсаторов.

Энергия заряженного конденсатора.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 39 (пп. 1, 2); № 19—21, 26—27.

---

**Урок № 15/129. Решение задач по теме «Электроёмкость»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Электроёмкость».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 39 (пп. 1, 2); № 22—25, 28, 30, 31.

---

**Урок № 16/130. Исследование ключевой ситуации «Движение заряженной частицы в конденсаторе»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Движение заряженной частицы в конденсаторе. § 39 (п. 3); № 16—18.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 39; № 29, 32, 33.

---

**Урок № 17/131. Обобщающий урок «Электростатика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Электростатика».
- 

2. Защита проектных работ.
- 

*Материалы для домашнего задания:* Повторить ключевые ситуации по теме «Электростатика». Задания типовой контрольной работы.

---

**Урок № 18/132. Контрольная работа № 6 «Электростатика»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Электростатика».
- 

*Материалы для домашнего задания:* Провести анализ решения заданий контрольной работы.

---

**Глава VIII. Постоянный электрический ток (18 ч)****Урок № 1/133. Закон Ома для участка цепи.**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Сила тока. § 40 (п. 1); № 1—5.
-

2. Закон Ома для участка цепи. § 40 (п. 2); № 6—10.

---

3. Природа электрического сопротивления. Зависимость сопротивления от температуры. § 40 (п. 3); № 11.

---

*Демонстрации:*

Условия существования электрического тока в проводниках.

Зависимость удельного сопротивления от температуры.

Действия тока.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 40 (пп. 1—3); № 33, 34, 44, 45, 55. Подготовиться к лабораторной работе (с. 199—201).

---

**Урок № 2/134. Лабораторная работа № 11 «Исследование вольт-амперной характеристики лампы накаливания»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 11 «Исследование вольт-амперной характеристики лампы накаливания».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 40 (пп. 1—3); № 35—37, 46, 47. *Экспериментальное задание:* Используя два небольших лимона, медную проволоку диаметром около 1 мм, цинковую пластинку<sup>1)</sup> и светодиод<sup>2)</sup>, изготовьте в домашних условиях гальванический элемент и проверьте его

---

1) Цинковую пластину можно «добыть», разобрав старую батарейку.

2) Можно использовать светодиод от брелока для ключей или от сломанных игрушек.

работоспособность. Какие ещё фрукты и овощи могут служить основой для гальванического элемента?

---

**Урок № 3/135. Исследование ключевых ситуаций «Последовательное и параллельное соединение проводников»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Последовательное и параллельное соединение проводников. § 40 (п. 4); № 12—18, 20—27.

---

2. Измерение силы тока и напряжения. § 40 (п. 5); № 31, 32.

---

*Демонстрации:* Последовательное и параллельное соединение ламп накаливания.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 40; № 19, 28—30, 38, 39, 56.

---

**Урок № 4/136. Решение задач по теме «Последовательное и параллельное соединение проводников»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Последовательное и параллельное соединение проводников». § 40; № 43—45, 52, 55.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Закон Ома для участка цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 40; № 40—42, 49—51, 53, 54, 57.

---

### **Урок № 5/137. Работа и мощность тока**

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Работа тока. Закон Джоуля — Ленца. § 41 (п. 1); № 1—4.

---

2. Применение закона Джоуля — Ленца к последовательно и параллельно соединённым проводникам. § 41 (п. 2); № 5—11.

---

3. Мощность тока. § 41 (п. 3); № 13—17.

---

#### *Демонстрации:*

Нагревание проводника электрическим током.

Применение закона Джоуля — Ленца к последовательно и параллельно соединённым проводникам.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 41; № 12, 18—20, 34, 38. Подготовиться к лабораторной работе (с. 201—202).

---

### **Урок № 6/138. Лабораторная работа № 12 «Мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Лабораторная работа № 12 «Мощность тока в проводниках при последовательном и параллельном соединении».

---

*Материалы для домашнего задания:* 41; № 24, 25, 28, 31—33, 36, 37.

---

**Урок № 7/139. Решение задач по теме «Работа и мощность тока»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Работа и мощность тока».

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Работа и мощность тока».

---

*Материалы для домашнего задания:* § 41; № 26, 27, 35, 39.

---

**Урок № 8/140. Закон Ома для полной цепи**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Источник тока. § 42 (п. 1).

---

2. Закон Ома для полной цепи. § 42 (п. 2); № 1—5, 7—9, 11—13.

---

3. КПД источника тока. § 42 (п. 3); № 14, 15.

---

*Демонстрации:*

Измерение ЭДС и источника тока.

Зависимость напряжения на зажимах источника от сопротивления нагрузки.

Определение внутреннего сопротивления источника.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 42; № 6, 10, 16, 17, 20—23, 29.

---

**Урок № 9/141. Решение задач по теме «Закон Ома для полной цепи»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Закон Ома для полной цепи».
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 42; № 18, 19, 24, 25, 30. Подготовиться к лабораторной работе (с. 202—203).

---

**Урок № 10/142. Лабораторная работа № 13 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Лабораторная работа № 13 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока».
- 

*Материалы для домашнего задания:* § 41; № 26—28, 31.

---

**Урок № 11/143. Расчёт электрических цепей с помощью метода эквивалентных электрических схем**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Метод эквивалентных электрических схем. § 43 (п. 1); № 1, 2.

---

2. Использование точек с равным потенциалом. § 43 (п. 2); № 3, 4.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 43 (пп. 1, 2); № 14—18, 22.

---

**Урок № 12/144. Максимальная мощность во внешней цепи**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Максимальная мощность во внешней цепи. § 43 (п. 3); № 5—9.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 43 (пп. 1—3); № 19, 20.

---

**Урок № 13/145. Исследование ключевой ситуации «Конденсаторы в цепи постоянного тока»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

## Содержание урока

1. Конденсаторы в цепи постоянного тока. § 43 (п. 4); № 10—13.

---

2. Кратковременная самостоятельная работа по теме «Закон Ома для полной цепи. Расчёт электрических цепей».

---

*Демонстрации:* Конденсатор в цепи постоянного тока.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 43; № 21, 23, 24.

---

### Урок № 14/146. Электрический ток в жидкостях

Дата проведения \_\_\_\_\_

#### Содержание урока

1. Электрический ток в электролитах. § 44 (п. 1); № 1.

---

2. Закон электролиза (закон Фарадея). § 44 (п. 2); № 3, 4.

---

3. Применение электролиза. § 44 (п. 3).

---

*Демонстрации:* Электролиз раствора медного купороса.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 44 (пп. 1—3); № 7—9. *Экспериментальное задание:* Прикоснитесь языком к клеммам плоской батарейки<sup>1)</sup>. Опишите и объясните ваши ощущения. Сравните ваши ощущения в данном опыте с кисловатым вкусом газированной воды или разбавленного пищевого уксуса. Ответьте на вопрос: почему кислоты называют кислотами?

---

1) Батарейку в этом опыте желательно использовать не новую.

**Урок № 15/147. Электрический ток в газах и вакууме**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Электрический ток в газах и вакууме. § 44 (п. 4); № 5, 6.

---

2. Плазма. § 44 (п. 5).

---

*Демонстрации:* Тлеющий разряд, коронный разряд.

---

*Материалы для домашнего задания:* § 44; № 10, 11.

---

**Урок № 16/148. Электрический ток в полупроводниках**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Полупроводники. § 45 (п. 1); № 1.

---

2. Примесная проводимость полупроводников. § 45 (п. 2); № 2, 4.

---

3. Полупроводниковый диод. § 45 (п. 3); № 3, 11.

---

4. Транзистор. § 45 (п. 4).

---

*Демонстрации:* ВАХ полупроводникового диода.

---

*Материалы для домашнего задания: § 45; № 5—10.*

---

**Урок № 17/149. Обобщающий урок «Постоянный электрический ток»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Решение задач по теме «Постоянный электрический ток».

---

2. Защита проектных работ.

---

*Материалы для домашнего задания: Повторить ключевые ситуации по теме «Постоянный электрический ток». Задания типовой контрольной работы.*

---

**Урок № 18/150. Контрольная работа № 7 «Постоянный электрический ток»**

Дата проведения \_\_\_\_\_

Содержание урока

1. Контрольная работа по теме «Постоянный электрический ток».

---

*Материалы для домашнего задания: Провести анализ решения заданий контрольной работы.*

---

**Обобщающее повторение (2 ч)**

**Физический практикум (15 ч)**

**Резерв учебного времени (8 ч)**

# **ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ** **С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ** **МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ** **КЛЮЧЕВЫХ СИТУАЦИЙ**

Ты мне рассказал — и я забыл.

Ты мне показал — и я запомнил.

Ты меня **вовлёл** — и я **научился**.

*Конфуций* (6-й век до нашей эры)

В нашем УМК по физике для 7—11-го классов мы предлагаем конкретную реализацию *учебно-исследовательской деятельности* учащихся в рамках *системно-деятельностного подхода* к обучению в соответствии с новым ФГОС, а именно **метод исследования ключевых ситуаций**.

Самый распространённый вид деятельности при изучении физики — *решение задач*<sup>1)</sup>. Поэтому на всех экзаменах учащимся предлагают *задачи* (количественные и качественные).

Таким образом, *обучение решению задач является самой актуальной проблемой методики обучения физике*. Учащийся, не умеющий решать задачи, не сможет успешно сдать экзамены.

## **Традиционная методика обучения решению задач и причины её неэффективности**

Традиционная методика обучения решению задач по физике состоит в том, что учитель показывает ученикам решения типовых задач по данной теме, а затем задаёт им подобные задачи для самостоятельного решения. При этом начинают по каждой теме с самых простых задач — «на подстановку», в которых нужно только подставить численные значения в формулу, взятую из учебника.

Такая методика кажется очень естественной и поэтому очень распространена, однако жизнь доказала её *неэффективность*: результаты ОГЭ и ЕГЭ показывают, что более или

---

<sup>1)</sup> Поскольку слово «задача» имеет очень широкий спектр значений, уточним: мы имеем в виду «стандартные» задачи школьного курса физики, каждая из которых состоит из условия и вопроса, обычно с одним правильным ответом — формульным, численным или словесным (например, в качественных задачах).

менее трудные задачи по физике могут решить всего несколько процентов *всех* учащихся (а не только тех, кто решился сдавать экзамены по физике).

Почему же традиционная методика обучения решению задач неэффективна?

Поскольку обучение решению задач по каждой теме начинают обычно с задач на подстановку (чтобы ученики заучили основные формулы), у учеников формируется иллюзия, будто для решения *любой* задачи надо найти «нужную формулу в учебнике» и подставить в неё заданные в условии задачи величины, чтобы найти значение искомой величины.

Ученики привыкают рассматривать формулы как шаблоны для подстановки численных значений, а не как запись *функциональной зависимости* одной физической величины от других.

Однако для решения более сложной задачи надо составить систему уравнений и решить её относительно искомой величины. В результате получается выражение искомой величины через заданные, а это *новая* формула, её в учебнике *нет*.

### Пассивное восприятие информации учениками

Ты мне *рассказал* — и я *забыл*.

И действительно, если учитель рассказывает решение задачи, не оставляя следов решения на доске, ученикам от этого совсем нет пользы.

Ты мне *показал* — и я *запомнил*.

Если учитель *показал* решение на доске, ученики его могут *запомнить*, но использовать те же соображения в изменившейся ситуации при решении похожей задачи они не смогут.

Ты меня *вовлёл* — и я *научился!*

Чтобы научить человека *действовать* (а решение задач — это *действие!*), необходимо *вовлечь* его в это действие.

Для вовлечения в действие учеников всего класса нужна разработанная методика. Одной из возможных методик является *метод исследования ключевых ситуаций*, о котором рассказано ниже.

### Монологическая форма

При традиционной методике ученик часто «ёжится» от вопроса учителя — не только потому, что может получить плохую оценку за неправильный ответ, но и потому, что такой ответ роняет его авторитет в глазах одноклассников.

А при деятельностном подходе к обучению ученики *отвечают* на вопросы, *задают* их, участвуют в *беседе*, *аргументируя* свою точку зрения, причём делают это *охотно*, без принуждения и *без страха получить плохую отметку*.

Простейшее действие ученика на уроке заключается в том, что он должен *сделать выбор* или *ответить на вопрос*. В идеале учитель должен спрашивать только тех учеников, которые хотят отвечать, поднимая руку. Остальных спрашивать не нужно — просто потому, что они не знают ответа, раз сами не изъявили желания отвечать. Сделать вывод о том, что ученик не знает ответа на поставленный вопрос, можно было, наверное, уже по тому, что он не поднял руку.

Чтобы ученики не боялись вопросов, сами задавали их и охотно отвечали, нужна атмосфера доброжелательного *обсуждения*, а не монолога учителя. А создание и поддержание такой атмосферы требует *времени*, которого на уроках физики *очень мало*.

К тому же, чтобы постоянно организовывать на уроке учебный диалог или обсуждение, нужны не только педагогический опыт и особенно тщательная подготовка к уроку, но и специально разработанная методика, представленная в учебниках и методических материалах.

### **Ученикам непонятно, почему учитель написал именно эти уравнения**

Для решения более или менее трудной задачи по физике необходимо составить систему уравнений и решить её относительно искомой величины (величин).

Как известно, главная трудность состоит именно в *составлении системы уравнений*.

Если учитель, показывая решение задачи, «лихо» записывает на доске уравнения, то многим ученикам кажется, что он подобен фокуснику, ловко вынимающему кролика из пустой шляпы: ну почему учитель написал *именно эти* уравнения? Каким «чутьём» он выбрал их из сотен похожих формул в школьном учебнике?

### **Дефицит времени на уроке приводит к натаскиванию**

Учитель может, конечно, объяснить подробно, почему для решения задачи он написал именно эти уравнения, а не какие-то другие. Для этого ему надо *проанализировать условие*

*задачи*: рассмотреть, какие явления происходят в ситуации, описанной в условии, какие законы и закономерности справедливы для этих явлений, как записать уравнения, выражающие эти законы и закономерности.

Однако в таком случае на «разбор» одной задачи (проходящий в виде *монолога*) потребуется не менее 15 минут, а если в разбор задачи «включаются» ученики и возникает дискуссия, то нужно примерно вдвое больше времени (причём чем активнее «включаются» ученики в этот разбор, тем больше времени он требует!).

Следовательно, на одном уроке можно подробно (с анализом условия) разобрать всего одну-две задачи. А ведь различных задач в школьном курсе — *тысячи!*

К тому же будущих учителей физики ещё и не всегда достаточно учат анализировать условие задачи — это вторая причина того, почему при показе решения задач нужные уравнения «волшебным» образом появляются на доске из-под руки учителя.

Итак, учитель оказывается перед выбором: провести «с чувством, с толком, с расстановкой» разбор одной-двух задач (лучше — *совместно* с учениками, но это потребует ещё большего времени) или «скороговоркой» сообщить ученикам готовые решения пяти-семи задач.

Жизнь заставляет учителя чаще сделать второй выбор. В результате ученики *запоминают* решения задач *вместе с условиями*, о чём говорит характерное выражение: «эту задачу я *знаю*», то есть *заучил* условие вместе с решением. Это, конечно, не обучение, а *натаскивание*.

Оно не гарантирует успешной сдачи экзамена. Предложенная на экзамене задача может быть по сути той, которую ученик заучил вместе с решением, но он не увидит этого сходства, потому что он пытается не *решить* задачу, а *вспомнить* заученное решение, которое слито с условием задачи «намертво».

Но у натаскивания есть недостаток и посерьёзнее неготовности к экзамену: из-за него физика как учебный предмет не учит мышлению, то есть лишается одной из главных своих целей.

### **Задача — инструмент контроля, а не обучения**

Последняя (по списку, но не по важности) причина неэффективности традиционной методики обучения состоит в том, что «стандартная» задача — это инструмент, разработанный для *контроля*: проверка правильности решения задачи зани-

мает секунды, благодаря чему один учитель может проверять работы десятков учеников.

Что же проверяет задача как инструмент для контроля? Более или менее сложная задача (для решения которой надо составить систему уравнений) проверяет умение *исследовать*, потому что осознанное (а не заученное!) решение задачи требует исследования — того самого анализа условия, о котором было сказано выше. Поэтому «умение решать задачи» — это не самостоятельное умение, а побочный продукт более общего умения — умения *исследовать*. Невозможно научить школьников *решать* задачи (а не заучивать решения), не привив им навыки исследования!

## Метод исследования ключевых ситуаций

### «Золотое правило» решения задач

Первый шаг в формировании навыков исследования состоит в том, чтобы развеять ложное представление, что учитель находит решение задачи, руководствуясь непостижимым «чутьём».

Для этого надо *вовлечь* учеников в процесс решения задачи, построив его в форме *учебного диалога*, чтобы ученики *поняли* естественность и обоснованность каждого этапа решения, *участвуя* в нём.

Последовательность этих этапов мы назвали «золотым правилом» решения задач. Ниже предлагается его реализация в форме учебного диалога.

1. *Закройте поставленный в задаче вопрос* и предложите ученикам сосредоточиться на *ситуации*, описанной в условии задачи. Это — принципиально важный шаг: внимание учеников надо переключить с бесполезного поиска прямого ответа на вопрос задачи на плодотворное *исследование условия*.

2. *Какие явления* происходят в этой ситуации?

3. *Какие законы и закономерности* справедливы для этих явлений? (Например, выражение для силы трения, равенство ускорений тел, связанных нерастяжимой нитью и т. п.)

4. *Как записать* эти законы и закономерности в виде уравнений? Обратите внимание учеников на то, что в этих уравнениях можно использовать также величины, не упомянутые в условии задачи.

5. *Откройте вопрос задачи* и предложите ученикам решить полученную систему уравнений относительно *искомых величин*.

Ответы учеников *обсуждаются*, после чего правильные записываются на доске. Условие задачи должно оставаться всё время на доске или быть спроецированным на экран (интерактивную доску).

Если вы научите своих учеников самостоятельно следовать «золотому правилу» решения задач, это поможет им решить практически любую задачу школьного курса<sup>1)</sup>. Систематическое применение этого правила естественно объясняет, с записи каких уравнений надо начинать решение задачи.

Однако применение только «золотого правила» решения задач не решает проблему обучения решению задач кардинально, потому что различных задач в школьном курсе физики тысячи, и просто невозможно тратить достаточное время на разбор каждой из них.

К счастью, действительно «различных» задач в школьном курсе физики не так уж много.

### Ключевые ситуации

Если посмотреть на множество школьных задач по физике «с высоты птичьего полёта», то легко заметить, что сюжеты *тысяч* задач основаны всего на нескольких *десятках* ситуаций. Примеры таких ситуаций в механике: свободное падение тела, движение тела по наклонной плоскости, по окружности в горизонтальной или вертикальной плоскости.

Случайна ли такая «группировка» сюжетов задач вокруг небольшого числа ситуаций?

Нет, не случайна, потому что эти ситуации, которые мы называем *ключевыми*, — основной *источник* задач. Отличительная особенность ключевых ситуаций состоит в том, что в них *особенно хорошо проявляются основные законы физики*. Некоторые ключевые ситуации даже «помогли» открытию этих законов. Например, изучая свободное падение тел и движение тел по наклонной плоскости, Галилей установил основные закономерности равноускоренного движения, а изу-

<sup>1)</sup> Мы не рассматриваем здесь олимпиадные задачи, потому что некоторые из них требуют знания специальных, порой искусственных приёмов, о которых действительно трудно догадаться.

чая движение планет по орбитам, близким к круговым, Ньютон открыл закон всемирного тяготения.

Поскольку различных ключевых ситуаций во много раз меньше, чем различных задач, изучению каждой из этих ситуаций можно посвятить достаточное время даже при огорчительно малом числе уроков физики.

Именно исследование ключевых ситуаций и сформирует у учеников исследовательские навыки. А эффективность такого исследования очень высока: ведь при исследовании *одной* ключевой ситуации естественным образом ставятся и решаются *десятки* задач. Причём это не сопровождается стрессом, а происходит «само собой», как в увлекательной игре.

В нашем УМК тщательно подобраны ключевые ситуации ко всем разделам школьного курса физики. Многие параграфы учебников представляют собой канву сценариев уроков, посвящённых исследованию ключевых ситуаций.

### Как исследовать ключевую ситуацию?

Исследование ключевой ситуации представляет собой развитие «золотого правила» решения задач. Главное отличие ситуации от задачи состоит в том, что в ситуации *нет уже поставленного вопроса*. Мы вместе с учениками *ставим* задачи по данной ситуации и *решаем* их (ставя при этом новые задачи!).

Исследование ключевой ситуации лучше всего проводить в форме учебного диалога.

1. Какие *явления* происходят в этой ситуации?
2. Какие *законы* и *закономерности* справедливы для этих явлений?
3. Как *записать* эти законы и закономерности в виде уравнений?
4. Какие *задачи* можно *поставить*, используя эту систему уравнений?
5. Как *решить* эти задачи?

Определяющими в методе ключевых ситуаций являются два последних этапа: *постановка* и *решение* задач. Именно они отличают *разбор задачи* от *исследования ситуации*. Поэтому остановимся на них подробнее.

Как и при использовании «золотого правила» решения задач, ответы учеников обсуждаются, после чего правильные записываются на доске. Сама ситуация должна быть тоже, конечно, всё время на виду у учеников.

Постановка задач с использованием записанной системы уравнений состоит в том, что среди величин, входящих в уравнения, выбираются «заданные» и «искомые». После такого выбора поставленную задачу обязательно надо сформулировать вместе с вопросом.

Решение задачи (в общем виде) представляет собой в таком случае вывод формул, выражающих искомые величины через заданные.

Можно, конечно, решать поставленные задачи и не в общем виде, а «по действиям». Иногда это оказывается проще и даже поучительнее (мы находим «промежуточные» значения физических величин, что учит ребят относиться к этим значениям не как к абстрактным числам, а осознанно: например, подумать о том, реальны или нереальны полученные значения).

Особенно важно то, что в процессе постановки задач физические формулы превращаются из шаблонов для подстановки численных значений в запись функциональных зависимостей между физическими величинами, благодаря чему формулы становятся *источниками задач*, а не только инструментом их решения.

Использование метода исследования ключевых ситуаций позволяет на одном уроке разобрать не одну-две задачи, а поставить и решить *десятки задач*, причём в доброжелательной творческой атмосфере.

Исследование ключевой ситуации в форме *дискуссии* чрезвычайно полезно — не только потому, что это помогает глубже понять ситуацию и проявляющиеся в ней законы физики, но ещё и потому, что *диалог наиболее эффективно развивает мышление*.

Мы ведь рассуждаем, тоже ведя внутренний *диалог*: «тихо сам с собою я веду беседу». Л. С. Выготский показал, что внутренний диалог-размышление формируется в дошкольном возрасте в результате *общения* ребёнка со взрослыми и сверстниками, происходящего в форме *диалога*.

*Обсуждение* чрезвычайно важно для развития мышления и подростка, и взрослого. Так, создатель логики Аристотель обучался философии, *беседуя* со своим учителем Платоном во время прогулок по саду «Академия» (названному по имени его владельца Академа). Это были не монологи, а *беседы!* А сам Платон был учеником самого известного любителя диалогов — Сократа. Платон записал знаменитые «*Диалоги Сократа*», которые были и остаются прекрасной школой мышления.

### Как превратить в исследование задачи «на подстановку»?

Задачи на подстановку, направленные на запоминание основных формул, тоже необходимы: формирование исследовательских навыков невозможно, если ученики не знают основных формул.

Однако и этим простейшим задачам нужно придать характер исследования. Записав любую новую формулу, например

$$v = \frac{l}{t} \text{ или } I = \frac{U}{R},$$

как на *источник задач*: какие различные задачи можно поставить, используя эту формулу?

Предложите ученикам поставить такие задачи с *реальными* численными данными (это позволит ученикам освоиться в порядках величин и приучит оценивать реальность полученные результатов). Постановку задач желательно проводить с использованием групповых форм работы, описанных далее.

При «обкатке» каждой новой формулы обращайтесь внимание учеников прежде всего на *качественный* характер изменения одной физической величины при изменении другой (увеличивается или уменьшается).

Это не только часто проверяется сегодня в экзаменационных заданиях, но и очень важно для развития *физической интуиции*. Настоящее обучение — это не заучивание правил, а именно развитие интуиции. Человек, «умеющий решать задачи», то есть обладающий развитыми *навыками исследования*, сразу «чувствует» характер зависимостей между параметрами, определяющими ситуацию, описанную в условии задачи.

## Возможные формы организации учебно-исследовательской деятельности при использовании метода исследования ключевых ситуаций

### Фронтальные формы работы

Учебный диалог вовлекает *весь класс* в исследование ключевой ситуации.

Например, можно предложить такие соревнования между рядами.

— Ученики какого ряда назовут больше законов или закономерностей, справедливых для данной ситуации?

— Ученик одного ряда предлагает записать одно из уравнений названных законов выбранному им ученику другого ряда (при этом допустима помощь других учеников из того же ряда).

— Ученики какого ряда поставят больше вопросов с помощью написанных уравнений?

— Ученики какого ряда быстрее найдут ответы на эти вопросы?

### Групповые формы работы

Ученики объединяются в группы по три — пять человек.

**1-й вариант:** всем группам предлагается для исследования одна и та же ситуация и даётся около 20 минут на работу. По окончании работы один ученик из каждой группы кратко излагает результаты исследования. Выбор «докладчика» из членов группы можно произвести, например, по жребию: тогда ученики любой группы будут заинтересованы в том, чтобы каждый член их группы хорошо разобрался в ситуации, поэтому ученики будут помогать друг другу. Затем общим голосованием определяют группу, получившую наиболее полные результаты.

**2-й вариант:** каждой группе предлагается своя ситуация (по одной и той же теме). Дальнейшая работа происходит так же, как в первом варианте.

### Самостоятельные работы с отметкой по желанию

Конечно, далеко не всё время урока должно уходить на обсуждения, даже очень полезные. Ученик должен подумать и *сам*, ставя и решая задачи. Удобнее всего организовывать такую деятельность в виде самостоятельных работ с *отметкой по желанию*.

Предложите ученикам исследовать некоторые ситуации самостоятельно. Важно, чтобы такая работа учащихся была *свободным исследованием*, а для этого необходимо, чтобы ученик не боялся делать ошибки. Учебно-исследовательская деятельность учащихся позволяет осуществить *дифференциацию обучения*: каждый ученик может «вспахивать» ситуацию на ту глубину, на какую он способен в данный момент (поэтому очень важно, что ситуация «открыта»: в ней нет уже поставленного вопроса).

В связи с этим отметим, что учебно-исследовательская деятельность учащихся (в том числе метод исследования ключевых ситуаций) требует изменения отношения учителя к *ошибкам* учеников. Ведь *человек учится только до тех пор, пока он ошибается*: когда он перестаёт ошибаться, он перестаёт и учиться, превратившись из ученика в *исполнителя*.

Предложите ученикам сдать результаты своих исследований, сказав, что отметку за работу вы будете переносить в журнал только при условии, что она устраивает ученика. Тогда эта самостоятельная работа будет именно *исследованием*, а значит, большим шагом вперёд для ученика. По результатам работ учеников вы сможете диагностировать, какие моменты усвоены ребятами лучше, а какие — хуже и требуют дополнительной работы.

Выставление в журнал отметок по желанию не мешает «насыщению» журнала отметками, а помогает ему. Поощрительных отметок будет в этом случае достаточно много, причём сразу станет видно, против фамилий каких учеников образовались пробелы из-за малого числа отметок.

Этих учеников надо не наказывать, а постараться *помочь* им. Например, хорошо, если во время самостоятельных работ с отметкой по желанию сильные ученики *помогают* другим ученикам, ходя по классу и вполголоса давая советы тем, у кого возникают проблемы. При этом важно объяснить «консультантам» или «помощникам» (предложите ребятам самим выбрать подходящее название), что они должны не *решать* задачу вместо того, кто нуждается в помощи, а *помочь ему найти решение*, «сдвинув с мёртвой точки».

Такая взаимопомощь учеников чрезвычайно полезна в нескольких отношениях.

Во-первых, она значительно улучшает атмосферу урока, наполняя его доброжелательной и заинтересованной работой *всех* учеников.

Во-вторых, она улучшает отношения между учениками: «любимчики» учителя *помогают* остальным, поэтому возможные зависть или неприязнь к ним сменяются благодарностью.

В-третьих, такая взаимопомощь решает в некоторой степени вопрос дифференциации обучения.

В-четвёртых, эта взаимопомощь помогает не только слабым, но и сильным ученикам: они учатся быстро входить в ситуацию, чётко и аргументированно излагать свои мысли, а самое главное — учатся *помогать*, то есть становятся лучше как *люди* (а воспитанию должно быть место на *всех* уроках).

И наконец, такая взаимопомощь резко повышает эффективность обучения и делает его комфортным.

Надеемся, что метод исследования ключевых ситуаций поможет вам в обучении ваших учеников физике, в частности — в обучении их решению задач.

# ТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Учебник построен так, что каждый его параграф является канвой сценария урока в соответствии с системно-деятельностным подходом к обучению. Поэтому многие методические рекомендации сосредоточены непосредственно в параграфах учебника. По этой причине ниже кратко изложены только основные цели изучения каждой темы, её особенности, а также характерные затруднения учащихся и возможные способы их преодоления.

## **Глава I. Кинематика**

Цель изучения кинематики — подготовить учащихся к изучению последующих разделов механики, прежде всего — динамики.

В отличие от других тем школьного курса физики, в кинематике не изучают *законы физики* (их начинают рассматривать только при изучении динамики, например законы Ньютона и закон всемирного тяготения). Поэтому формул, выражающих законы физики, в кинематике нет.

Однако в кинематике рассматриваются выражаемые формулами *закономерности*, главные из которых — зависимость скорости и координаты тела при равноускоренном движении от времени и основные соотношения между величинами, описывающими равномерное движение по окружности.

Из нескольких основных формул выводятся (в основном при решении задач) другие формулы. Не требуйте от учеников, чтобы они все их запоминали: на экзаменах многие из этих формул всё равно нельзя использовать как «готовые», их надо выводить. Для учеников будет намного полезнее, если при решении задач они «непроизвольно» научатся быстро выводить любую из этих формул, используя основные две-три формулы. Необходимое для запоминания небольшое число формул приведено в конце каждого параграфа в разделе «Что мы узнали».

Обилие формул в кинематике и постоянные действия с ними при решении задач могут сформировать у учеников представление, что кинематика — «это не физика, а математика».

Чтобы такое представление не оказало негативного воздействия на интерес учащихся к физике как фундаменталь-

ной науке о природе, разъясните им, что кинематика как раздел физики носит «служебный» характер, готовит «инструменты» для изучения дальнейших, более содержательных разделов физики (причём не только механики).

Желательно продемонстрировать связь кинематики с динамикой на примерах, сопровождая изучение кинематики *физическими демонстрациями*. Для этого полезно воспользоваться тем, что ученики уже изучали динамику в курсе физики основной школы и знакомы с понятием силы и с законами Ньютона.

Для актуализации материала, пройденного в основной школе, и для подготовки к изучению динамики предложите учащимся при изучении прямолинейного равномерного движения вспомнить, при каком условии тело движется прямолинейно и равномерно (когда действующие на тело силы уравновешивают друг друга). Подтвердите это *демонстрацией*: тележка, движущаяся по горизонтальному столу с малым трением, или ещё лучше — на воздушной подушке или скатывающаяся по наклонной плоскости со специально подобранным малым углом наклона.

Далее таким же образом при изучении прямолинейного равноускоренного движения свяжите его с прямолинейным движением тела под действием *постоянной* силы. Подходящая демонстрация в этом случае — скатывание тележки или соскальзывание бруска с наклонной плоскости.

У некоторых учеников может возникнуть вопрос (если он не возникает, наведите их на этот вопрос): почему в кинематике изучают произвольный на первый взгляд набор видов движений:

- прямолинейное равномерное движение,
- прямолинейное равноускоренное движение,
- на углублённом уровне движение по параболе (тело, брошенное под углом к горизонту),
- равномерное движение по окружности?

Объясните ученикам, что это как раз те виды движений, которые будут изучаться в дальнейшем в динамике:

- движение тела, когда действующие на него силы уравновешивают друг друга,
- движение тела под действием постоянной силы (равнодействующей),
- движение тела по окружности под действием постоянной силы, направленной к центру окружности. При-

ведите в пример движение планет или искусственных спутников Земли.

## Глава II. Динамика

Цель изучения динамики — научить учащихся применять три закона Ньютона и свойства сил тяготения, упругости и трения при исследовании ключевых ситуаций (нахождения соотношений между величинами, характеризующими ситуацию), что используется в дальнейшем для постановки и решения задач.

Изучая первый и второй законы Ньютона, обратите внимание учащихся на то, что первый закон постулирует существование инерциальных систем отсчёта, в которых выполняется второй закон. Поэтому первый закон Ньютона не является (как иногда ошибочно считают) частным случаем второго.

Самое главное качественное следствие второго закона Ньютона состоит в том, что ускорение тела и равнодействующая приложенных к телу сил *всегда направлены одинаково* (сонаправлены). Направление же скорости тела может быть при этом любым.

Поскольку это далеко не очевидно, *продемонстрируйте* ученикам, что при одном и том же направлении равнодействующей направление скорости тела может быть различным.

То, что скорость тела может быть направлена противоположно равнодействующей, можно продемонстрировать на примере тела, брошенного вертикально вверх (удобно использовать для этого небольшой мешочек с песком: он не ударит никого и не закатится никуда после падения на пол). Затем покажите, что скорость может быть направлена перпендикулярно равнодействующей. Для этого бросьте предмет (мешочек с песком) под углом к горизонту и спросите, как направлены скорость тела и равнодействующая приложенных к нему сил в верхней точке траектории. Это позволит также напомнить ученикам, что скорость тела направлена по касательной, что пригодится при рассмотрении движения планеты вокруг Солнца. Предложите ученикам сравнить направление скорости планеты и направление действующей на неё силы тяготения со стороны Солнца. Это будет хорошей пропедевтикой для последующего изучения сил тяготения.

Изучая третий закон Ньютона, обратите внимание на то, что две силы, упоминаемые в этом законе, имеют всегда

одинаковую физическую природу и не уравнивают друг друга, поскольку приложены к разным телам.

Применяя законы Ньютона к рассмотрению движения тела, необходимо учитывать выражения для действующих на тело сил — силы тяжести (тяготения), силы упругости и силы трения.

При построении чертежей, на которых изображаются приложенные к телам силы, обратите внимание на то, что в случаях, когда тело рассматривается как материальная точка, все приложенные к нему силы изображаются приложенными *в одной точке*, потому что тогда удобнее находить векторную сумму приложенных к телу сил, а также проекции сил на оси координат.

Трудным местом для некоторых учащихся является связь между весом тела и силой тяжести: некоторые даже отождествляют эти понятия. Поэтому уделите достаточное внимание рассмотрению этого вопроса: ученики должны понять, что эти силы приложены к разным телам и имеют разную природу.

При изучении закона Гука некоторые ученики могут не обратить внимания на отличие длины пружины от её удлинения. Покажите на примерах, что закон Гука связывает силу упругости с удлинением пружины, а не её длиной. С этой целью полезно разобрать приведённые в учебнике ситуации, в описании которых фигурируют значения длины пружины при разных значениях силы упругости.

При изучении сил трения важно, чтобы ученики осознали отличия силы трения скольжения от силы трения покоя. Это лучше делать тоже с помощью демонстрации: покажите, например, что лежащий на столе брусок не сдвигается с места до тех пор, пока приложенная к нему горизонтально направленная сила не достигнет определённого значения.

Учёт свойств силы трения покоя — важнейшее условие исследования ситуаций, в которых тело в начальный момент покоится. Иногда невозможно даже сделать предварительный чертёж, на котором изображены действующие на покоящееся тело силы, потому что ни модуль, ни даже направление силы трения покоя не известны до нахождения условия покоя тела (например, когда тело находится на наклонной плоскости или на вертикальной поверхности).

Обратите внимание учеников на слово «гладкий» в описаниях ситуаций: оно означает, что трением в данном случае можно пренебречь.

Важнейшая ключевая ситуация темы «Динамика» — *тело на наклонной плоскости*. Одна из главных трудностей при изучении этой темы — нахождение и использование проекций сил на оси координат. Чтобы ученики при этом правильно использовали тригонометрические функции, целесообразно брать угол наклона плоскости не слишком близким к  $45^\circ$ : удобно брать, например, углы  $30^\circ$  и  $60^\circ$ . Полезно на первых порах ограничиться нахождением проекций сил на оси координат, а только потом записывать второй закон Ньютона в проекциях.

Равномерное движение тела по окружности исследуется с помощью ключевых ситуаций: *поворот транспорта и конический маятник*. При рассмотрении этих ситуаций важно всегда начинать с учёта того факта, что если тело равномерно движется по окружности, то ускорение тела направлено к центру этой окружности и согласно второму закону Ньютона его можно связать с равнодействующей приложенных к телу сил, которая также направлена к центру окружности.

При рассмотрении движения системы тел желательно тоже начинать не с «полного решения» задач, а с расстановки действующих на тела сил. При этом надо учитывать третий закон Ньютона. После такого рассмотрения нескольких ситуаций с взаимодействующими телами можно переходить к следующему этапу — записи уравнений второго и третьего законов Ньютона для каждого из тел системы. На этом этапе важно учесть так называемые «кинематические связи» и уточняющие слова в описаниях ситуаций. Например, если тела связаны нерастяжимой нитью, то модули скорости и ускорения тел равны, а если сказано, что нить лёгкая, то это означает, что её массой можно пренебречь. Отсюда следует, что со стороны нити на связанные ею тела действуют равные по модулю силы (так как равнодействующую приложенных к такой нити сил следует считать равной нулю).

### Глава III. Законы сохранения в механике

Изучение этой темы преследует две цели.

Во-первых — дать ученикам представление о самых фундаментальных законах природы, каковыми сегодня считают законы сохранения.

В школьном курсе механики законы сохранения импульса и энергии представлены как следствия второго и третьего законов Ньютона. Однако в современной физической картине мира законы сохранения имеют более высокий «статус», чем

законы Ньютона, потому что их область применения значительно шире: они справедливы и в тех случаях, когда законы Ньютона применять нельзя — например, при движении частиц со скоростями, сравнимыми со скоростью света, или микрочастиц.

Особое внимание следует уделить закону сохранения энергии — он связывает *все* природные явления — не только физические, но также химические и биологические (межпредметные связи).

Вторая цель: применить законы сохранения в механике при исследовании некоторых ситуаций, для которых в рамках школьного курса физики невозможно непосредственно применить второй закон Ньютона (например, неравномерное движение по криволинейной траектории). Напомним, что этот закон применяется в школьном курсе только для двух простейших случаев: при прямолинейном движении тела под действием постоянной равнодействующей и при равномерном движении тела по окружности.

Для успешного применения законов сохранения в механике важно рассмотреть условия их применимости и привести соответствующие примеры (желательно с демонстрациями). Обратите внимание учащихся на условия применимости законов сохранения.

При изучении механической работы обратите внимание учащихся на то, что в определении механической работы входит только понятие работы силы, тогда как при применении понятия работы в механике и далее в термодинамике используется понятие «работы тела». Поясните, что работой тела называют работу силы, действующей со стороны этого тела.

При рассмотрении работы различных сил важно обратить внимание на принципиальное отличие работы силы трения скольжения от работы силы тяжести и силы упругости. Поясните, что наличие силы трения скольжения всегда приводит к уменьшению механической энергии системы тел, тогда как действие сил тяжести и упругости не изменяет полной механической энергии замкнутой системы тел.

При введении и рассмотрении понятия потенциальной энергии обратите внимание учеников на то, что она всегда связана с взаимодействием тел: например, говоря о «потенциальной энергии поднятого груза», мы подразумеваем потенциальную энергию взаимодействия груза и Земли. Кинетическую же энергию можно определить и для одного тела (в заданной системе отсчёта).

Для изучения применения законов сохранения в механике рассматривается ключевая ситуация «Неравномерное движение тела по окружности в вертикальной плоскости» — начиная с простейшего случая (движение подвешенного груза) до движения по «мёртвой петле» и соскальзывания с полушеры.

При исследовании движения системы тел с помощью законов сохранения в механике важно учитывать применимость каждого из этих законов. Очень поучительна в этом смысле ситуация «Баллистический маятник»: на первом этапе (пуля входит в подвешенный брусок) применим только закон сохранения импульса, а на втором этапе (движение бруска с пулей) применим только закон сохранения энергии в механике.

## Глава IV. Статика

Цель изучения статики — научить учащихся применять первое и второе условия равновесия тел в значительно большем объёме, чем в основной школе. Поскольку после изучения этого материала в основной школе прошло несколько лет, целесообразно изучать эту тему практически заново.

С первым условием равновесия проблем обычно не возникает, потому что для применения этого условия тело можно рассматривать как материальную точку. А при рассмотрении второго условия равновесия необходимо учитывать различные точки приложения сил, что для учеников на первых порах непривычно. И первая трудность здесь — осознание учениками различия между «плечом силы» и расстоянием от точки приложения силы до точки опоры. Чтобы справиться с этой трудностью, полезно до решения расчётных задач исследовать ситуацию, когда к телу приложены две или три силы, причём плечи этих сил не совпадают с расстоянием от точки приложения силы до точки опоры.

Важным «секретом» применения второго условия равновесия является удачный выбор точки, относительно которой находятся моменты всех сил, действующих на тело. Поскольку выбирать такую точку можно произвольно, удобнее совместить её с точкой приложения сил, модуль и направление которых не заданы в описании ситуации.

Гидростатике и условию плавания тел желательно уделить достаточное внимание, поскольку при изучении этой темы в основной школе познания учеников в механике были ещё недостаточны для того, чтобы исследовать более или менее сложные ситуации, которые часто предлагаются на ЕГЭ.

При изучении закона Архимеда важно обратить внимание учеников на то, что сила Архимеда — это не «новая» по своей природе сила (в дополнение к уже знакомым силам тяготения, упругости и трения), а равнодействующая уже известных сил давления, приложенных ко всем участкам поверхности тела, погружённым в жидкость.

## Глава V. Молекулярная физика

Изучение этой темы преследует следующие цели.

Во-первых — помочь учащимся изучить газовые процессы для идеальных газов. Рассмотрение этой темы в УМК построено по принципу «от простого к сложному».

Сначала с опорой на опыт изучаются свойства идеальных газов в изопроцессах, затем мы переходим к уравнению состояния идеального газа, применимому для газовых процессов, в которых изменяются все три параметра, характеризующие данную массу газа (давление, объём и температура).

Вторая цель — расширить представления учащихся о строении вещества. На школьном уровне теорию строения вещества удаётся рассмотреть только на примере молекулярно-кинетической теории идеального газа. При этом важно обратить внимание учащихся на установление связи между микроскопическими и макроскопическими параметрами (основное уравнение молекулярно-кинетической теории). Нахождение этой связи позволяет объяснить изученные ранее газовые процессы. Кроме того, при изучении молекулярно-кинетической теории повторяются важнейшие понятия механики.

При рассмотрении жидкостей и твёрдых тел в школьном курсе физики приходится ограничиться качественным подходом, поэтому вопросы теории рассматриваются только в обзорном плане.

Третья цель — подготовить учащихся к изучению термодинамики, в которой используются газовые законы и представление об энергии газа.

Как известно, при изучении темы «Насыщенный пар. Влажность» у многих учеников возникают трудности с решением задач, хотя по сути дела единственное, чем нужно пользоваться при этом, — таблицей зависимости давления насыщенных паров от температуры. Поэтому желательно раскрыть этот «секрет» перед учениками, а ещё лучше — помочь им самим его раскрыть.

Для определения массы пара или сконденсировавшейся воды в более сложных задачах используется уравнение Менделеева — Клапейрона.

## Глава VI. Термодинамика

Термодинамика — раздел физики, изучающий наиболее общие свойства макроскопических систем и способы передачи и превращения энергии в таких системах. Однако в рамках школьного курса физики при изучении термодинамики ставятся более скромные и конкретные цели.

Первая из них — изучение первого закона термодинамики. В школьном курсе физики этот фундаментальный закон рассматривается главным образом применительно к идеальному газу, поэтому активно используются газовые законы. Полезно достаточно подробно рассмотреть следствия первого закона термодинамики применительно к изопроцессам и адиабатному процессу. При этом надо вместе с учащимися вывести выражения для изменения внутренней энергии и работы газа при различных видах газовых процессов.

Обратите внимание учащихся на понятие количества теплоты. Сохранившееся со времён теории «теплорода» не очень удачное название этого понятия может помешать ученикам понять физический смысл количества теплоты как величины, характеризующей не состояние данной массы газа, а процесс перехода газа из одного состояния газа в другое. То же самое относится и к работе газа — она тоже характеризует процесс перехода газа из одного состояния в другое. Внутренняя же энергия характеризует само состояние газа, поэтому при записи первого закона термодинамики значок «дельта» ставят только перед внутренней энергией: можно говорить об изменении внутренней энергии газа при переходе из одного состояния в другое, но нельзя говорить об «изменении количества теплоты» при таком переходе, потому что количеством теплоты характеризуется именно сам переход.

Важно объяснить учащимся, почему при изучении термодинамики главным образом рассматриваются газы. Для этого обратите внимание учеников на то, что вследствие сжимаемости газа значительная часть внутренней энергии данной массы газа может быть преобразована в механическую энергию при расширении газа. Именно это свойство газа (сжимаемость) и обеспечивает его применение в качестве рабочего тела в подавляющем большинстве тепловых двигателей.

Таким образом, мы естественно переходим ко второй цели изучения термодинамики — изучению принципа действия тепловых двигателей. Особое внимание уделяется при этом процессам, происходящим с рабочим телом, в качестве которого используется данная масса газа.

Обратите внимание учеников на то, что максимально возможное значение КПД теплового двигателя, определяемое только значениями абсолютной температуры нагревателя и охладителя, обычно в несколько раз превышает реальное значение КПД теплового двигателя, равное выраженному в процентах отношению полезной работы двигателя к количеству теплоты, выделившемуся при сгорании топлива.

При изучении тепловых двигателей следует уделить некоторое внимание вопросам экологии, а также пояснить ученикам смысл понятия «энергетический кризис».

Третья цель изучения этой темы — напомнить учащимся уравнение теплового баланса, с которым они познакомились при изучении физики в основной школе. Это необходимо по двум причинам. Во-первых, с тех пор ученики уже основательно забыли этот материал, а задания на эту тему регулярно включаются в задания ЕГЭ. Во-вторых, в старшей школе можно рассмотреть более сложные ситуации, особенно в случае фазовых переходов. В таком случае сам вид конечного состояния не определён, поэтому невозможно и написать сразу уравнение теплового баланса. В учебнике приведены примеры исследования таких ситуаций.

## Глава VII. Электростатика

Изучение электрических явлений часто «идёт» труднее, чем изучение механических и даже тепловых явлений. Одна из причин этого — намного меньшая наглядность электрических явлений по сравнению с тепловыми и особенно механическими: движение тел, пламя, нагревающее тело, расширение газа при нагревании мы видим непосредственно, однако ни электрическое поле, ни движущиеся электроны наблюдать непосредственно невозможно.

Поэтому при изучении электрических явлений особое внимание надо уделить демонстрациям: взаимодействию заряженных тел, визуализации линий напряжённости, нагреванию проводников при прохождении электрического тока и пр.

Чтобы заинтересовать учеников изучением электричества, приведите примеры, поражающие воображение: например,

дайте наглядное представление о громадной силе, с которой взаимодействовали бы тела зарядом в 1 Кл, а затем скажите, что такой заряд проходит за считанные секунды через лампочку карманного фонарика. Приведите удивительное сравнение электрического заряда Земли с суммарным зарядом всех электронов в столовой ложке воды (эти примеры содержатся в учебнике). Будет намного лучше, если необходимые расчёты ученики выполнят сами.

Одна из главных целей изучения электростатики — осознание учащимися понятия электрического поля как формы материи, отличной от привычного ученикам «вещества», с которыми они имели дело при изучении механических и тепловых явлений. Поясните, что, как ни странно, мы видим окружающий мир посредством «невидимого» электрического поля электромагнитной волны, каковой является свет.

Важно, чтобы ученики осознали и научились использовать различие между напряжённостью поля и напряжением между точками пространства, в котором существует электрическое поле (к сожалению, этому иногда мешает сходство терминов).

Вторая цель изучения электростатики — научить находить силы, действующие на заряды со стороны электрического поля (однородного или созданного несколькими точечными зарядами, а также равномерно заряженной сферой). Для этого полезно напомнить учащимся правила действия с векторами.

При изучении темы «Проводники и диэлектрики в электрическом поле» важно, чтобы ученики не просто запомнили факт, что при равновесии зарядов напряжённость электрического поля в проводнике равна нулю, а в диэлектрике уменьшается, а поняли физическую причину этого — перераспределение зарядов в веществе. Это позволит им, например, исследовать не только ситуацию, когда заряженные тела помещены в диэлектрик (в таком случае сила электрического взаимодействия между телами уменьшается), но и ситуацию, когда диэлектрик помещается между заряженными телами (в таком случае сила электрического взаимодействия между телами увеличивается).

При изучении электроёмкости не рассматривается электроёмкость уединённого тела: рассмотрение этого понятия ограничено рассмотрением электроёмкости конденсатора, что поддерживается исследованием соответствующих ситуаций. Формула для электроёмкости плоского конденсатора используется, но не выводится.

## Глава VIII. Постоянный электрический ток

Цели изучения этой темы — дать представление учащимся о природе электрического тока в различных средах и научить их рассчитывать электрические цепи: находить сопротивление участка цепи или всей цепи, а также распределение силы тока и напряжения между элементами цепи.

При изучении последовательного и параллельного соединения проводников полезно начать с исследования простейших ситуаций: последовательного и параллельного соединения двух проводников. Предложите ученикам самим найти сопротивление такого участка цепи, распределение силы тока и напряжения между проводниками — тогда ученики смогут осознанно рассчитывать более сложные цепи.

Целесообразно поступить таким же образом и при изучении темы «Работа и мощность тока». Начать изучение этой темы можно с простого вопроса: почему утюг нагревается, а провода, соединяющие утюг с розеткой, остаются при этом холодными? Очень поучителен также опыт с двумя лампами, рассчитанными на разную мощность: спросите, почему при изменении вида соединения ламп (параллельно или последовательно) они как бы меняются ролями.

При изучении темы «Закон Ома для полной цепи» полезно вместе с учениками построить и рассмотреть график зависимости напряжения на внешней цепи от силы тока в цепи. Во-первых, при этом ученики могут открыть для себя удобный способ измерения ЭДС источника тока без составления и решения системы уравнений (именно этот способ измерения ЭДС источника используется в лабораторной работе). Во-вторых, поставьте вопрос о характере этой зависимости: почему она так разительно отличается от прямой пропорциональности напряжения на проводнике силе тока в нём, рассмотренной при изучении закона Ома для участка цепи? Наведите учеников на мысль, что при изучении закона Ома для участка цепи рассматривалась зависимость напряжения на проводнике от силы тока в нём при неизменном сопротивлении участка цепи, а при изучении закона Ома для полной цепи рассматривается зависимость напряжения от силы тока, обусловленная изменением сопротивления внешней цепи.

При изучении темы «Электрический ток в полупроводниках» помогите учащимся научиться рассчитывать электрические схемы, содержащие полупроводниковые диоды. На экзаменах такие схемы порой «пугают» учащихся, хотя для их

расчёта надо всего лишь учесть одностороннюю проводимость диода. Предложите учащимся самим исследовать простейшие схемы с полупроводниковыми диодами, находя вначале только направление тока на различных участках цепи при разной полярности подключения источника тока. Лишь после этого можно ставить вопросы о нахождении сопротивления цепи и мощности тока в цепи.

# УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ

## Глава I. Кинематика

### § 1. Система отсчёта, траектория, путь и перемещение

**20.** При движении от полюса до экватора вдоль меридиана самолёт пролетел четверть экватора, а затем ещё четверть экватора — летя вдоль экватора. Таким образом, проделанный самолётом путь равен половине длины экватора.

В результате описанного перелёта самолёт переместился с *полюса* в некоторую точку *экватора*. Следовательно, перемещение самолёта равно по модулю длине отрезка *прямой*, соединяющей полюс с любой точкой экватора:  $s = R\sqrt{2}$ , где  $R$  — радиус Земли. Заметим, что этот отрезок проходит *внутри* земного шара.

#### 22. Обозначения:

$h_0$  — начальная высота, с которой падал мяч;

$h_1$  — высота, на которую мяч поднялся после отскока;

$l$  — пройденный мячом путь;

$s$  — модуль перемещения мяча.

Пройденный мячом путь

$$l = h_0 + h_1. \quad (1)$$

Модуль перемещения мяча

$$s = h_0 - h_1. \quad (2)$$

Согласно условию

$$l = 4s. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $\frac{h_1}{h_0}$  через величины, заданные в условии.

**31.** Модуль перемещения самолёта равен длине *прямолинейного* отрезка, соединяющего точку на полюсе Земли с *любой* точкой экватора. Это — длина гипотенузы прямоугольного равнобедренного треугольника с катетом, равным радиусу Земли.

**32.** Можно считать, что в единицах СИ пути, проходимые шариком при движении *вниз*, составляют бесконечную геометрическую прогрессию:  $1; \frac{1}{2}; \frac{1}{4}; \frac{1}{8}$  и т. д. Пути, проходимые шариком при движении *вверх*, также составляют геометрическую прогрессию:  $\frac{1}{2}; \frac{1}{4}; \frac{1}{8}; \frac{1}{16}$  и т. д. Путь, пройденный шариком до остановки, равен сумме всех членов этих двух прогрессий. Напомним, что сумма всех членов убывающей бесконечной геометрической прогрессии выражается формулой  $S = \frac{b_1}{1 - q}$ , где  $b_1$  — первый член прогрессии,  $q$  — знаменатель прогрессии, равный отношению любого члена прогрессии, начиная со второго, к предыдущему члену. В данном случае для обеих прогрессий  $q = \frac{1}{2}$ .

**33.** Рассмотрим треугольник, две стороны которого — отрезки пути туриста длиной 2 км и 4 км. По условию угол между этими сторонами равен  $135^\circ$ . Используя теорему косинусов, находим длину третьей стороны — она равна модулю перемещения туриста. Используя далее теорему синусов применительно к этой третьей стороне и стороне, равной 4 км, находим синус угла между вектором перемещения и направлением на юг. Зная синус угла, находим сам угол.

**34.** Пусть в искомый момент времени часы показывают  $x$  часов. Модуль перемещения конца минутной стрелки в системе отсчёта, связанной с часовой стрелкой, максимален в момент, когда концы этих стрелок максимально удалены друг от друга, то есть стрелки расположены вдоль одной прямой и направлены противоположно.

За один час часовая стрелка поворачивается на угол  $30^\circ$ , следовательно, к искомому моменту часовая стрелка сместилась из начального положения на угол

$$\alpha_{\text{ч}} = x \cdot 30^\circ. \quad (1)$$

Минутная же стрелка сместилась за тот же промежуток времени на угол

$$\alpha_{\text{м}} = x \cdot 360^\circ. \quad (2)$$

Согласно условию

$$\alpha_m - \alpha_q = 180^\circ. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно найти, чему равно значение  $x$  в часах.

## § 2. Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей

**18. Обозначения:**

$v_1$  — скорость автобуса на участке АБ;

$v_2$  — скорость автобуса на участке БВ;

$v_{\text{ср}}$  — средняя скорость автобуса на всем пути от А до В;

$t_1$  — время движения от А до Б;

$t_2$  — время движения от Б до В;

$l_1$  — расстояние от А до Б;

$l_2$  — расстояние от Б до В.

а) Среднюю скорость автобуса можно выразить через времена движения и скорости на двух участках формулой

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2}.$$

Используя эту формулу, можно выразить отношение  $\frac{t_1}{t_2}$  через величины, заданные в условии.

б) Среднюю скорость автобуса можно выразить через пути, пройденные на двух участках, и скорости формулой

$$v_{\text{ср}} = \frac{l_1 + l_2}{\frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}}.$$

Используя эту формулу, можно выразить отношение  $\frac{l_1}{l_2}$  через величины, заданные в условии.

**19. Обозначения:**

$v_{\text{вер}}$  — скорость вертолѐта относительно воздуха;

$v_{\text{вет}}$  — скорость ветра;

$d$  — расстояние от А до В.

а) Время перелёта при попутном ветре выражается формулой

$$t_{\text{по}} = \frac{d}{v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}}}. \quad (1)$$

Время перелёта при встречном ветре выражается формулой

$$t_{\text{прот}} = \frac{d}{v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}}}. \quad (2)$$

б) Разделив уравнение (1) на уравнение (2), получим одно уравнение, с помощью которого можно выразить  $\frac{v_{\text{вер}}}{v_{\text{вет}}}$  через величины, заданные в условии.

в) Время перелёта при отсутствии ветра выражается формулой

$$t_{\text{безветр}} = \frac{d}{v_{\text{вер}}}. \quad (3)$$

Чтобы выразить  $t_{\text{безветр}}$  через  $t_{\text{по}}$  и  $t_{\text{прот}}$ , удобно воспользоваться следующим приёмом.

Уравнения (1—3) можно переписать в виде

$$\frac{1}{t_{\text{по}}} = \frac{v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}}}{d}, \quad (4)$$

$$\frac{1}{t_{\text{прот}}} = \frac{v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}}}{d}, \quad (5)$$

$$\frac{1}{t_{\text{безветр}}} = \frac{v_{\text{вер}}}{d}. \quad (6)$$

Используя уравнения (4—6), составим одно уравнение, с помощью которого можно выразить  $t_{\text{безветр}}$  через  $t_{\text{по}}$  и  $t_{\text{прот}}$ .

## 20. Обозначения:

$l$  — длина эскалатора;

$v_{\text{э}}$  — скорость движения эскалатора;

$v$  — скорость Саши относительно эскалатора, когда он идёт по ступенькам.

Когда Саша стоит на одной и той же ступеньке движущегося эскалатора, время спуска выражается формулой

$$t_0 = \frac{l}{v_э}. \quad (1)$$

Когда Саша идёт по эскалатору со скоростью  $v$  *относительно эскалатора*, время спуска выражается формулой

$$t_1 = \frac{l}{v_э + v}. \quad (2)$$

Когда Саша идёт по остановившемуся эскалатору со скоростью  $v$  *относительно эскалатора*, время спуска выражается формулой

$$t_2 = \frac{l}{v}. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $t_2$  через  $t_0$  и  $t_1$ . Для этого удобно «перевернуть» предварительно все три уравнения (см. указание к предыдущей задаче).

### 29. Обозначения:

$v_1$  — скорость каждого автомобиля на первом участке (50 км/ч);

$v_2$  — скорость каждого автомобиля на втором участке (70 км/ч);

$l$  — путь, пройденный каждым автомобилем;

$t$  — время движения синего автомобиля.

Средняя скорость красного автомобиля

$$v_k = \frac{l}{\frac{l}{2v_1} + \frac{l}{2v_2}} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}. \quad (1)$$

Средняя скорость синего автомобиля

$$v_c = \frac{\frac{v_1t}{2} + \frac{v_2t}{2}}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2}. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить средние скорости автомобилей через величины, заданные в условии. Зная средние скорости автомобилей, можно выразить время движения каждого автомобиля через величины, заданные в условии.

### 31. Обозначения:

$l$  — пройденный самолётом при перелёте путь;

$v_{\text{сам}}$  — скорость самолёта относительно воздуха;

$v_{\text{вет}}$  — скорость ветра.

Время перелёта при попутном ветре выражается формулой

$$t_{\text{по}} = \frac{l}{v_{\text{сам}} + v_{\text{вет}}}. \quad (1)$$

Время перелёта при встречном ветре выражается формулой

$$t_{\text{прот}} = \frac{l}{v_{\text{сам}} - v_{\text{вет}}}. \quad (2)$$

Согласно условию

$$v_{\text{сам}} = 10v_{\text{вет}}. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно найти отношение  $\frac{t_{\text{прот}}}{t_{\text{по}}}$ .

### 34. Обозначения:

$v_1$  — скорость мотоциклиста на первом участке пути (50 км/ч);

$v_2$  — скорость мотоциклиста на втором участке пути (60 км/ч).

Средняя скорость мотоциклиста согласно условию выражается формулой

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{\frac{l}{3 \cdot v_1} + \frac{2l}{3 \cdot v_2}}.$$

Используя эту формулу, можно найти среднюю скорость, а также пройденный за указанное время путь.

**35. Обозначения:** $v_{\text{тепл}}$  — скорость теплохода относительно воды; $v_{\text{теч}}$  — скорость течения; $l$  — расстояние между городами М и Н.

Время движения теплохода по течению выражается формулой

$$t_{\text{по}} = \frac{l}{v_{\text{тепл}} + v_{\text{теч}}}. \quad (1)$$

Время движения теплохода против течения выражается формулой

$$t_{\text{прот}} = \frac{l}{v_{\text{тепл}} - v_{\text{теч}}}. \quad (2)$$

Время движения плота выражается формулой

$$t_{\text{плот}} = \frac{l}{v_{\text{теч}}}. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $t_{\text{плот}}$  через  $t_{\text{по}}$  и  $t_{\text{прот}}$ . Для этого удобно «перевернуть» предварительно все три уравнения.

**36. Обозначения:** $l$  — расстояние между посёлками; $v_{\text{ав}}$  — модуль скорости аиста относительно воздуха; $v_{\text{аз}}$  — модуль скорости аиста относительно земли во время перелёта при боковом ветре; $v_{\text{в}}$  — модуль скорости бокового ветра.

Время перелёта в безветренную погоду выражается формулой

$$t_1 = \frac{l}{v_{\text{ав}}}. \quad (1)$$

Время перелёта при боковом ветре выражается формулой

$$t_2 = \frac{l}{v_{\text{аз}}}. \quad (2)$$

Скорость аиста относительно земли является векторной суммой скорости аиста относительно воздуха и скорости ветра.

По условию ветер направлен перпендикулярно отрезку АБ, вдоль которого летит аист. Поэтому векторы скорости аиста относительно воздуха, скорости ветра и скорости аиста относительно земли составляют прямоугольный треугольник, гипотенуза которого — скорость аиста относительно воздуха.

Следовательно, согласно теореме Пифагора

$$v_{\text{аз}} = \sqrt{v_{\text{ав}}^2 - v_{\text{в}}^2}. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $t_2$  через  $t_1$  и отношение  $\frac{v_{\text{в}}}{v_{\text{ав}}}$ , заданное в условии.

Синус угла между скоростью аиста относительно воздуха и отрезком АБ выражается формулой

$$\sin \alpha = \frac{v_{\text{в}}}{v_{\text{ав}}}.$$

### § 3. Прямолинейное равноускоренное движение

**38.** Записав выражения для путей, пройденных мотоциклистом за одну и две секунды, получим два уравнения с двумя неизвестными — начальной скоростью и ускорением. Найдя их, можно найти и расстояние, пройденное за три секунды.

**39.** Обозначения:

$v_0$  — модуль начальной скорости шарика;

$a$  — модуль ускорения шарика;

$t_1, t_2$  — промежутки времени (1 с и 3 с), через которые шарик оказался на заданном в условии расстоянии от начальной точки (30 см).

Модуль перемещения шарика за указанные в условии промежутки времени выражается формулами

$$s = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2}, \quad (1)$$

$$s = v_0 t_2 - \frac{at_2^2}{2}. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $v_0$  и  $a$  через величины, заданные в условии.

Путь, пройденный шариком до возвращения в начальную точку, в 2 раза больше пути, пройденного шариком вверх до остановки (тормозной путь). Следовательно,

$$l = 2 \frac{v_0^2}{2a}. \quad (3)$$

Подставив полученные выражения в формулу (3), получим выражение для пройденного шариком пути.

#### 40. Обозначения:

$l_1$  — путь, пройденный телом за первую секунду;

$l_2$  — путь, пройденный телом за вторую секунду;

$a$  — модуль ускорения тела;

$v_0$  — модуль начальной скорости тела;

$\tau$  — промежуток времени, равный 1 с.

Путь, пройденный телом за промежуток времени  $\tau$ :

$$l_\tau = v_0 \tau + \frac{a\tau^2}{2}. \quad (1)$$

Путь, пройденный телом за промежуток времени  $2\tau$ :

$$l_{2\tau} = v_0 \cdot 2\tau + \frac{a(2\tau)^2}{2}. \quad (2)$$

Согласно условию  $l_2 = 2l_1$ , а поскольку  $l_{2\tau} = l_1 + l_2$ , получаем:

$$l_{2\tau} = 3l_1. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $v_0$  через  $a$ .

41. Из формулы зависимости  $x(t)$  следует, что направление ускорения тела *противоположно* его начальной скорости. Следовательно, в некоторый момент времени направление скорости тела изменится на противоположное, после чего скорость тела будет *увеличиваться* по модулю. Именно с этого момента времени пути, проходимые телом за последовательные равные промежутки времени, будут

составлять арифметическую прогрессию. В момент, когда скорость тела изменяет своё направление, модуль скорости равен *нулю*.

Из формулы для  $x(t)$  можно определить проекцию начальной скорости тела на ось  $x$  и проекцию ускорения. Это позволяет найти момент времени, в который скорость тела равна нулю.

#### § 4. Движение с ускорением свободного падения

**53.** Обозначения:

$l_{\text{п}}$  — путь, пройденный телом за последнюю секунду падения;

$l_{\text{пп}}$  — путь, пройденный телом за предпоследнюю секунду падения;

$l_{2\tau}$  — путь, пройденный телом за последние две секунды падения;

$\tau$  — промежуток времени, равный 1 с;

$t$  — время падения тела.

Справедливо соотношение:

$$l_{2\tau} = l_{\text{п}} + l_{\text{пп}}. \quad (1)$$

Согласно условию

$$l_{\text{п}} = 2l_{\text{пп}}. \quad (2)$$

Из уравнений (1, 2) следует:

$$l_{2\tau} = \frac{3}{2}l_{\text{п}}. \quad (3)$$

Путь, пройденный телом за последнюю секунду падения, выражается формулой

$$l_{\text{п}} = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-\tau)^2}{2}. \quad (4)$$

Путь, пройденный телом за последние две секунды падения, выражается формулой

$$l_{2\tau} = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-2\tau)^2}{2}. \quad (5)$$

Подставляя уравнения (4, 5) в соотношение (3), получаем одно уравнение для нахождения времени падения тела  $t$ . Для

нахождения скорости тела непосредственно перед падением на землю и высоты, с которой падало тело, удобно использовать численное значение времени падения.

**66. Обозначения:**

$v_{0x}$  — проекция начальной скорости мяча на горизонтально направленную ось  $x$ ;

$v_{0y}$  — проекция начальной скорости мяча на направленную вертикально вверх ось  $y$ ;

$t$  — время полёта мяча от начального момента до верхней точки траектории.

В верхней точке траектории проекция скорости мяча на ось  $y$  равна нулю, следовательно,

$$v_{0y} - gt = 0. \quad (1)$$

Согласно условию, за время  $t$  мяч пролетел по горизонтали расстояние  $d$ , поэтому

$$v_{0x}t = d. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить проекции начальной скорости мяча через  $g$  и величины, заданные в условии. Зная проекции начальной скорости мяча, можно, используя теорему Пифагора, найти модуль начальной скорости.

**67. Обозначения:**

$t$  — искомый промежуток времени;

$\tau$  — время падения второй капли (2 с);

$d$  — расстояние между каплями в указанный момент времени.

Согласно условию

$$\frac{g(t + \tau)^2}{2} - \frac{g\tau^2}{2} = d.$$

Искомый промежуток времени равен положительному корню этого квадратного уравнения относительно  $t$ .

**68. Обозначения:**

$v_0$  — начальная скорость камня;

$h$  — высота, на которой дважды побывал камень с интервалом времени  $\tau$  (4 с).

Высота, на которой находится камень через промежуток времени  $t$  после броска, выражается формулой

$$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

Это квадратное уравнение относительно  $t$  имеет два положительных корня, которые можно выразить через  $v_0$ ,  $h$  и  $g$ .

Согласно условию разность значений этих корней равна  $\tau$ . Записав выражение для разности корней, получим уравнение, с помощью которого можно выразить  $v_0$  через заданные в условии величины.

**69. Обозначения:**

$v_{0x}$  — проекция начальной скорости мяча на горизонтально направленную ось  $x$ ;

$v_{0y}$  — проекция начальной скорости мяча на направленную вертикально вверх ось  $y$ ;

$t$  — время полёта мяча от начального момента до верхней точки траектории;

$d$  — расстояние между мальчиками;

$v_0$  — модуль начальной скорости мяча.

В верхней точке траектории проекция скорости мяча на ось  $y$  равна нулю, следовательно,

$$v_{0y} - gt = 0. \quad (1)$$

Нетрудно доказать, что время полёта мяча от броска до верхней точки траектории равно времени полёта мяча от верхней точки траектории до конечной точки. Отсюда следует, что всё время полёта мяча в 2 раза больше, чем время полёта мяча от начального момента до верхней точки траектории. Поэтому дальность полёта мяча, то есть расстояние между мальчиками, выражается формулой

$$v_{0x} \cdot 2t = d. \quad (2)$$

Согласно теореме Пифагора

$$v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2. \quad (3)$$

Используя уравнения (1 и 3), можно выразить  $v_{0x}$  через величины, заданные в условии. Подставив это выражение в уравнение (2), находим искомое расстояние.

**70. Обозначения:** $v_0$  — модуль начальной скорости мяча; $\alpha$  — угол бросания мяча.

Зависимость проекций скорости от времени выражается формулами

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt, \quad (1)$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha. \quad (2)$$

Первый из моментов времени, когда  $|v_x| = |v_y|$ , соответствует уравнению

$$v_x = v_y. \quad (3)$$

Второй из моментов времени, когда  $|v_x| = |v_y|$ , соответствует уравнению

$$v_x = -v_y. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) находим искомые моменты времени.

Когда проекции скорости мяча на оси координат равны по модулю, скорость мяча направлена под углом  $45^\circ$  к горизонту, поэтому модуль скорости мяча в эти моменты времени можно выразить через модуль начальной скорости.

**71.** Проследим мысленно за небольшой массой воды, вылетевшей из брандспойта. Она находится в воздухе в течение промежутка времени, равного времени полёта тела, брошенного под углом к горизонту, равным углу наклона брандспойта к горизонту, со скоростью, равной скорости бьющей из брандспойта струи.

Отсюда следует, что масса воды, находящейся в воздухе, равна массе воды, выходящей из брандспойта за время полёта  $t$  небольшой массы воды.

Время  $t$  можно найти, зная направление и модуль  $v_0$  начальной скорости воды.

За время  $t$  из брандспойта выходит объём воды  $V$ , равный объёму цилиндра с площадью основания  $S$  и высотой  $v_0 t$ . Следовательно,

$$V = v_0 t S.$$

Массу  $m$  воды, выходящей из брандспойта за это время, можно выразить через объём  $V$  и плотность воды  $\rho$ :

$$m = \rho V.$$

### § 5. Равномерное движение по окружности

#### 26. Обозначения:

$r$  — радиус колеса;

$v$  — скорость движения велосипеда.

Задачу удобнее решать в системе отсчёта, связанной с велосипедом. В этой системе отсчёта начальная скорость капли направлена вертикально вверх и равна по модулю скорости велосипеда в системе отсчёта, связанной с дорогой. Это следует из того, что если колесо катится без проскальзывания, то скорость нижней точки колеса велосипеда относительно дороги равна нулю.

Зная начальную скорость тела, брошенного вертикально вверх, можно найти время движения тела до падения в начальную точку.

Чтобы капля попала в ту же точку колеса, с которой она сорвалась, за время полёта капли колесо должно совершить целое число оборотов.

#### 39. Обозначения:

$d$  — расстояние между дисками;

$v$  — скорость пули на участке между дисками;

$\omega$  — угловая скорость вращения дисков;

$\nu$  — частота обращения дисков.

Расстояние между дисками пуля пролетает за время

$$t = \frac{d}{v}. \quad (1)$$

За это же время диски поворачиваются на угол

$$\alpha = \omega t. \quad (2)$$

Угловая скорость дисков  $\omega$  связана с частотой их вращения  $\nu$  соотношением

$$\omega = 2\pi\nu. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии. При этом значение частоты обращения дисков надо выразить в об/с, а угол поворота дисков — в радианах.

## Глава II. Динамика

### § 6. Три закона Ньютона

**13.** Используя правило параллелограмма для сложения векторов, получаем, что модуль  $F$  равнодействующей двух сил, равных по модулю  $F_1$  каждая, равен длине диагонали ромба со сторонами  $F_1$ , проведённой из угла, равного углу между силами-слагаемыми, то есть углу  $\alpha$ .

Сделав чертёж, получаем, что половина диагонали ромба равна катету прямоугольного треугольника, прилежащего к углу  $\frac{\alpha}{2}$ , причём гипотенуза данного треугольника равна  $F_1$ . Отсюда следует, что

$$F = 2F_1 \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Здесь  $\alpha$  — угол между двумя равными по модулю силами.

**26.** Обозначения:

$m_1, m_2$  — массы тел  $1$  и  $2$ ;

$F$  — модуль прикладываемой силы;

$a_1, a_2$  — модули ускорений тел под действием этой силы;

$a$  — ускорение тела  $3$ , составленного из соединённых тел  $1$  и  $2$ .

Согласно второму закону Ньютона

$$a_1 = \frac{F}{m_1}, \quad (1)$$

$$a_2 = \frac{F}{m_2}, \quad (2)$$

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2}. \quad (3)$$

Выразив  $m_1$  и  $m_2$  через  $F$ ,  $a_1$  и  $a_2$  и подставив полученные выражения в уравнение (3), получим выражение  $a$  через  $a_1$  и  $a_2$ .

**27.** Обозначения:

$l$  — длина каната;

$d$  — расстояние от лодки до берега;

$\vec{F}_T$  — сила, действующая на лодку со стороны текущей воды;

$\vec{F}_B$  — сила, действующая на лодку со стороны ветра;

$\vec{F}_K$  — сила, действующая на лодку со стороны каната.

Изобразив на чертеже положение лодки и действующие на неё силы, можно заметить, что прямоугольный треугольник с катетами  $\vec{F}_T$  и  $\vec{F}_B$  подобен прямоугольному треугольнику, гипотенузой которого является длина каната  $l$ , а одним из катетов — расстояние  $d$  от лодки до берега: этому катету соответствует сила  $\vec{F}_B$ .

Из подобия указанных прямоугольных треугольников и теоремы Пифагора следует:

$$\frac{F_B}{F_T} = \frac{d}{\sqrt{l^2 - d^2}}.$$

### 28. Обозначения:

$m$  — масса тела;

$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  — силы, действующие на тело в описанных трёх опытах;

$a_1, a_2, a_3$  — модули ускорения тела в этих опытах;

$t_1, t_2, t_3$  — времена движения тела в этих опытах;

$l_1, l_2, l_3$  — пути, пройденные телом в этих опытах.

Из формул для прямолинейного равноускоренного движения следует:

$$l_3 = \frac{a_3 t_3^2}{2}.$$

Согласно второму закону Ньютона

$$a_3 = \frac{F_3}{m}.$$

$F_1$  и  $F_2$  можно выразить через модули ускорений тел  $a_1, a_2$  в первых двух опытах с помощью второго закона Ньютона, а  $a_1$  и  $a_2$  — через  $l_1, t_1$  и  $l_2, t_2$  с помощью формул для прямолинейного равноускоренного движения. Следует учесть, что силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  направлены противоположно.

## § 7. Силы тяготения

**30.** Воспользуйтесь результатом задачи 29, согласно которому период обращения искусственного спутника планеты на низкой орбите зависит *только от плотности* планеты.

**31.** Обозначения:

$R$  — радиус планеты;

$M$  — масса планеты;

$\rho$  — средняя плотность планеты;

$v_0$  — начальная скорость камешков;

$l$  — максимальная дальность полёта камешков;

$g$  — ускорение свободного падения вблизи поверхности планеты.

Максимальная дальность полёта тела, брошенного под углом к горизонту, достигается при угле бросания  $45^\circ$  и выражается через начальную скорость тела и ускорение свободного падения формулой (её надо выводить, а не брать в качестве готовой):

$$l = \frac{v_0^2}{g}. \quad (1)$$

Ускорение свободного падения  $g$  можно выразить через массу планеты и её радиус:

$$g = G \frac{M}{R^2}. \quad (2)$$

Массу планеты можно выразить через её среднюю плотность и радиус:

$$M = \frac{4\pi R^3}{3} \rho. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $\rho$  через величины, заданные в условии.

**37.** Вследствие суточного вращения точки поверхности Земли движутся с запада на восток. В этом же направлении движутся и спутники связи, «висящие» над одной и той же точкой поверхности Земли. А спутник по условию задачи движется на запад! Следовательно, он движется в направлении, противоположном направлению суточного вращения Земли.

По условию спутник пролетает над одной и той же точкой экватора с интервалом в 12 часов. За это время Земля совершает половину суточного оборота. Следовательно, чтобы оказаться над той же точкой земной поверхности, спутник, двигаясь в направлении, противоположном суточному вращению Земли, тоже должен совершить за 12 часов пол-оборота. Отсюда следует, что спутник совершает полный оборот вокруг Земли за сутки, то есть движется по орбите, находящейся на той же высоте, что и геостационарная орбита, но в противоположном направлении.

**48. Обозначения:**

$R$  — радиус планеты;

$\rho$  — средняя плотность планеты;

$h$  — высота обрыва;

$t$  — время падения камня с обрыва;

$g$  — ускорение свободного падения вблизи поверхности планеты.

Из формул для прямолинейного равноускоренного движения следует, что

$$h = \frac{gt^2}{2}. \quad (1)$$

Ускорение свободного падения  $g$  можно выразить через массу планеты и её радиус:

$$g = G \frac{M}{R^2}. \quad (2)$$

Массу планеты можно выразить через её среднюю плотность и радиус:

$$M = \frac{4\pi R^3}{3} \rho. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $\rho$  через величины, заданные в условии.

**50.** Если запускать спутник в направлении вращения Земли с первой космической скоростью, то с учётом суточного вращения Земли его скорость относительно Земли равна по модулю разности между первой космической скоростью и скоростью движения точек земной поверхности, обусловленной суточным вращением Земли.

Эту скорость можно найти, исходя из того, что точки земной поверхности вследствие суточного вращения Земли проходят за одни сутки путь, равный длине экватора.

## § 8. Силы упругости

### 25. Обозначения:

- $m_1, m_2$  — массы грузов;  
 $k$  — жёсткость пружины;  
 $l_0$  — длина недеформированной пружины;  
 $l_1$  — длина пружины, когда на столе лежит второй брусок;  
 $l_2$  — длина пружины, когда на столе лежит первый брусок;  
 $l_3$  — длина пружины, если подвесить систему за второй брусок;  
 $l_4$  — длина пружины, если подвесить систему за первый брусок.

Когда на столе лежит второй брусок, сила упругости пружины равна весу первого бруска, поэтому согласно закону Гука

$$k(l_0 - l_1) = m_1g. \quad (1)$$

Когда на столе лежит первый брусок,

$$k(l_0 - l_2) = m_2g. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $l_0$  и  $k$  через величины, заданные в условии.

При подвешивании системы за второй и первый брусок:

$$k(l_3 - l_0) = m_1g. \quad (3)$$

$$k(l_4 - l_0) = m_2g. \quad (4)$$

С помощью уравнений (3, 4) и используя уже найденные значения  $l_0$  и  $k$ , можно найти значения  $l_3$  и  $l_4$ .

### 27. Обозначения:

- $k_1, k_2$  — жёсткости пружин;  
 $x$  — общее удлинение системы пружин при подвешивании груза массой  $m$ ;  
 $k$  — жёсткость системы пружин.

Сила упругости каждой пружины, а также сила упругости системы пружин равна весу груза, поэтому согласно закону Гука

$$k_1 x_1 = mg, \quad (1)$$

$$k_2 x_2 = mg, \quad (2)$$

$$kx = mg. \quad (3)$$

Согласно условию

$$x_1 + x_2 = x, \quad (4)$$

$$k_1 = 3k_2. \quad (5)$$

а) Жёсткость системы пружин можно найти из уравнения (3).

б) С помощью уравнений (4—5) можно выразить  $x_2$  и  $k_2$  через  $x_1$ ,  $x$  и  $k_1$ . Подставив эти выражения в уравнения (1—2), получим систему двух уравнений с двумя неизвестными  $x_1$  и  $k_1$ . Найдя  $x_1$  и  $k_1$ , можно с помощью уравнений (4—5) найти  $x_2$  и  $k_2$ .

#### 45. Обозначения:

$m$  — масса грузовика;

$v$  — модуль скорости грузовика;

$R$  — радиус дуги;

$a$  — модуль ускорения грузовика в верхней точке траектории;

$P$  — модуль веса грузовика в верхней точке траектории;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на грузовик в верхней точке траектории;

$v_1$  — модуль минимальной скорости грузовика в верхней точке траектории, при которой вес грузовика в этой точке равен нулю.

Поскольку грузовик движется по дуге окружности, он испытывает направленное к центру окружности центростремительное ускорение, модуль которого выражается формулой

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Поэтому уравнение второго закона Ньютона для грузовика в верхней точке траектории в проекциях на направленную вертикально вниз ось  $x$  имеет вид

$$mg - N = \frac{mv^2}{R}. \quad (1)$$

Согласно третьему закону Ньютона вес грузовика равен по модулю силе нормальной реакции:

$$P = N. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $P$  через величины, заданные в условии.

Вес грузовика в верхней точке траектории будет равен нулю, если сила нормальной реакции в этой точке равна нулю. В таком случае уравнение второго закона Ньютона имеет вид

$$mg = \frac{mv_1^2}{R}.$$

Используя это уравнение, можно получить выражение для  $v_1$ .

#### 46. Обозначения:

$m_1, m_2$  — массы грузов;

$F_{\text{упр}}$  — модуль силы упругости пружины в начальный момент;

$a$  — модуль ускорения первого груза сразу после пережигания нити.

До пережигания нити сила упругости пружины уравновешивала силу тяжести обоих грузов:

$$F_{\text{упр}} = (m_1 + m_2)g. \quad (1)$$

Сразу после пережигания нити на первый груз будут действовать сила тяжести и такая же сила упругости пружины (она не изменится мгновенно, потому что первый груз не успеет сместиться из своего начального положения).

Поэтому в этот момент второй закон Ньютона для первого груза в проекциях на направленную вертикально вверх ось  $x$  имеет вид

$$F_{\text{упр}} - m_1g = m_1a. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $a$  через величины, заданные в условии.

**47. Обозначения:** $k_1, k_2$  — жёсткости пружин; $x$  — модуль деформации пружин при смещении бруска; $F$  — модуль равнодействующей приложенных к бруску сил.

Действующие на брусок сила тяжести и сила нормальной реакции уравнивают друг друга, поэтому равнодействующая всех приложенных к бруску сил — это равнодействующая сил упругости, действующих не него со стороны пружин.

При смещении бруска влево или вправо из начального положения одна пружина растягивается, а другая — сжимается. Поэтому действующие на брусок силы упругости пружин направлены в одну сторону (противоположную направлению смещения бруска — независимо от того, смещают брусок влево или вправо).

Поскольку величина деформации пружин одинакова, для модуля равнодействующей приложенных к бруску сил упругости можно записать:

$$F = (k_1 + k_2)x.$$

Используя это уравнение, можно выразить  $x$  через величины, заданные в условии.

**48. Обозначения:** $m$  — масса тележки; $v$  — модуль скорости тележки в верхней точке траектории; $R$  — радиус «мёртвой петли»; $N$  — сила нормальной реакции, действующей на тележку со стороны рельс в верхней точке траектории; $N_1$  — сила, с которой тележка давит на рельсы в верхней точке.

Поскольку тележка движется по окружности, она испытывает направленное к центру окружности центростремительное ускорение, модуль которого выражается формулой

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Поэтому уравнение второго закона Ньютона для тележки в верхней точке траектории в проекциях на направленную вертикально вниз ось  $x$  имеет вид

$$mg + N = \frac{mv^2}{R}. \quad (1)$$

Согласно третьему закону Ньютона сила, с которой тележка давит на рельсы, равна по модулю силе нормальной реакции:

$$N_1 = N. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $N_1$  через величины, заданные в условии.

**49. Обозначения:**

$m$  — масса тележки;

$v$  — модуль скорости тележки в нижней точке траектории;

$R$  — радиус «мёртвой петли»;

$N$  — сила нормальной реакции, действующей на тележку со стороны рельс в нижней точке траектории;

$P$  — вес тележки в нижней точке.

Поскольку тележка движется по окружности, она испытывает направленное к центру окружности центростремительное ускорение, модуль которого выражается формулой

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Поэтому уравнение второго закона Ньютона для тележки в нижней точке траектории в проекциях на направленную вертикально вверх ось  $x$  имеет вид

$$-mg + N = \frac{mv^2}{R}. \quad (1)$$

Вес тележки в нижней точке траектории — это сила, с которой тележка давит на рельсы в этой точке. Согласно третьему закону Ньютона вес тележки равен по модулю силе нормальной реакции:

$$P = N. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии.

**50. Обозначения:**

$m$  — масса груза;

$k$  — жёсткость пружины;

$l$  — пройденный грузом путь;

$\vec{F}$  — сила упругости пружины, действующая на груз;

$t$  — время движения груза;

$x$  — проекция деформации пружины на направленную вверх ось  $x$  (знак этой деформации заранее не известен!).

Проекция перемещения груза на направленную вверх ось  $x$  выражается формулой

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (1)$$

Используя в этом уравнении данные из условия, находим, что

$$a_x < 0.$$

Это означает, что ускорение груза направлено противоположно выбранному направлению оси  $x$ , то есть вниз.

Уравнение второго закона Ньютона для груза в проекциях на ось  $x$  можно записать в виде

$$F_x - mg = ma_x. \quad (2)$$

Подставляя в это уравнение данные из условия, находим, что

$$F_x > 0.$$

Это означает, что пружина растянута.

Согласно закону Гука

$$F = k|x|. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить деформацию пружины через величины, заданные в условии, с учётом того, что  $s_x = l$ .

## § 9. Силы трения

**12. Обозначения:**

$m$  — масса бруска;

$\vec{F}$  — сила, с которой брусок прижимают к стене;

$\vec{a}$  — ускорение бруска;

$\alpha$  — угол между силой  $\vec{F}$  и вертикалью;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и стеной;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стены на брусок.

Направим ось  $x$  горизонтально в направлении стены, а ось  $y$  — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на эти оси имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F \sin \alpha - N = 0; \\ O_y: F \cos \alpha - mg - \mu N = ma_y. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_y$  через величины, данные в условии. Если  $a_y < 0$ , то ускорение бруска направлено вниз, а если  $a_y > 0$ , то вверх.

**22. Обозначения:**

$m$  — масса бруска;

$\vec{F}_1$  — сила, с которой толкают брусок;

$\vec{F}_2$  — сила, с которой тянут брусок;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и столом;

$\alpha$  — угол между приложенной к бруску силой и горизонталью;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стола на брусок.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вверх.

В первом случае второй закон Ньютона при равномерном перемещении бруска в проекциях на эти оси имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: -F_1 \cos \alpha + \mu N = 0; \\ O_y: -F_1 \sin \alpha - mg + N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $F_1$  через  $m$  и величины, заданные в условии.

Во втором случае второй закон Ньютона при равномерном перемещении бруска в проекциях на эти оси имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F_2 \cos \alpha - \mu N = 0; \\ O_y: F_2 \sin \alpha - mg + N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $F_2$  через  $m$  и величины, заданные в условии.

Поскольку  $F_1$  и  $F_2$  оказываются пропорциональными  $m$ , отношение  $\frac{F_1}{F_2}$  не зависит от  $m$ .

**23. Обозначения:**

$m$  — масса бруска;

$\vec{F}_1$  — сила, приложенная к бруску при его равномерном движении вверх;

$\vec{F}_2$  — сила, приложенная к бруску при его равномерном движении вниз;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и стеной;

$\alpha$  — угол между приложенной к бруску силой и вертикалью;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стены на брусок.

Направим ось  $x$  горизонтально к стене, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Когда брусок движется вверх, действующая на него со стороны стены сила трения скольжения направлена вниз. Поэтому второй закон Ньютона при равномерном перемещении бруска вверх в проекциях на эти оси имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F_1 \cos \alpha - mg - \mu N = 0; \\ O_y: F_1 \sin \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $F_1$  через величины, заданные в условии.

Когда брусок движется вниз, действующая на него со стороны стены сила трения скольжения направлена вверх. Поэтому второй закон Ньютона при равномерном перемещении бруска вниз в проекциях на эти оси имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F_2 \cos \alpha - mg + \mu N = 0; \\ O_y: F_2 \sin \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $F_2$  через величины, заданные в условии.

#### 24. Обозначения:

$m$  — масса бруска;

$k$  — жёсткость пружины;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и столом;

$\vec{F}$  — прикладываемая к бруску горизонтальная сила;

$F_{\text{упр}}$  — модуль силы упругости пружины;

$x$  — удлинение пружины.

Брусок сдвинется с места, если приложенная к нему сила  $\vec{F}$  превышает по модулю максимальную силу трения покоя, которую принимают равной силе трения скольжения. Поэтому должно выполняться неравенство:

$$F \geq \mu N. \quad (1)$$

Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на направленную вертикально вверх ось  $x$  имеет вид

$$F_{\text{упр}} + N - mg = 0. \quad (2)$$

Согласно закону Гука

$$F_{\text{упр}} = kx. \quad (3)$$

Используя неравенство (1) и уравнения (2—3), можно выразить неравенство для  $F$  через величины, данные в условии.

**25. Обозначения:**

$m$  — масса бруска;

$k$  — жёсткость пружины;

$x$  — начальное сжатие пружины;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и столом;

$\vec{F}_1$  — сила, которую нужно приложить к бруску, чтобы сдвинуть его влево;

$\vec{F}_2$  — сила, которую нужно приложить к бруску, чтобы сдвинуть его вправо;

$\vec{F}_{\text{упр}}$  — сила упругости, действующая на брусок со стороны пружины.

Брусок сдвинется с места, если приложенная к нему горизонтальная сила  $\vec{F}$  превышает по модулю максимальную силу трения покоя, которую принимают равной силе трения скольжения. Поэтому должно выполняться неравенство:

$$F \geq \mu N. \quad (1)$$

Горизонтальная сила  $\vec{F}$  является равнодействующей приложенной к бруску силы и силы упругости пружины.

По условию пружина сжата, поэтому действующая на брусок сила упругости направлена вправо. Согласно закону Гука

$$F_{\text{упр}} = kx. \quad (2)$$

При сдвигании бруска влево равнодействующая  $\vec{F}$  сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_{\text{упр}}$  направлена влево, причём

$$F = F_1 - F_{\text{упр}}. \quad (3)$$

Используя неравенство (1) и уравнения (2—3), можно выразить неравенство для  $F_1$  через величины, данные в условии.

При сдвигании бруска вправо равнодействующая  $\vec{F}$  сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_{\text{упр}}$  направлена вправо, причём

$$F = F_2 + F_{\text{упр}}. \quad (4)$$

Используя неравенство (1) и уравнения (2, 4), можно выразить неравенство для  $F_2$  через величины, данные в условии.

**26. Обозначения:**

$m$  — масса бруска;

$\vec{F}$  — сила, приложенная к бруску;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и стеной;

$\alpha$  — угол между приложенной к бруску силой и вертикалью;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стены на брусок;

$\vec{a}$  — ускорение бруска.

Направим ось  $x$  вертикально вверх (в соответствии с рисунком 9.15 в учебнике), а ось  $y$  — горизонтально к стене.

По условию брусок движется вниз, поэтому действующая на него со стороны стены сила трения скольжения направлена вверх. Следовательно, второй закон Ньютона в проекциях на указанные оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F \cos \alpha - mg + \mu N = ma_x; \\ O_y: F \sin \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_x$  через величины, заданные в условии. Если  $a_x < 0$ , то ускорение бруска направлено вниз, а если  $a_x > 0$ , то вверх.

## § 10. Тело на наклонной плоскости

**14. Обозначения:**

$m$  — масса бруска;

$l$  — длина наклонной плоскости;

$\alpha$  — угол наклона плоскости;

$v_0$  — модуль скорости бруска сразу после толчка;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и плоскостью;

$\vec{a}_{\uparrow}$  — ускорение бруска при движении вверх вдоль наклонной плоскости;

$\vec{a}_{\downarrow}$  — ускорение бруска при движении вниз вдоль наклонной плоскости;

$t_{\uparrow}$  — время движения бруска вверх вдоль наклонной плоскости;

$t_{\downarrow}$  — время движения бруска вниз вдоль наклонной плоскости.

Направим ось  $x$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

а) Когда брусок движется по наклонной плоскости вверх, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вниз. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mg\sin\alpha + \mu N = ma_{\uparrow}; \\ O_y: mg\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_{\uparrow}$  через  $g$ ,  $\alpha$  и  $\mu$ .

Когда брусок движется по наклонной плоскости вниз, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mg\sin\alpha - \mu N = ma_{\downarrow}; \\ O_y: mg\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_{\downarrow}$  через  $g$ ,  $\alpha$  и  $\mu$ .

Получив выражения для  $a_{\uparrow}$  и  $a_{\downarrow}$ , можно найти выражение и для их отношения.

б) При движении вверх по наклонной плоскости брусок проходит до остановки путь  $l$ , который выражается формулой

$$l = \frac{v_0^2}{2a_{\uparrow}}.$$

Начальная скорость связана с ускорением бруска и временем движения до остановки соотношением

$$v_0 = a_{\uparrow}t_{\uparrow}.$$

Используя последние две формулы, можно выразить  $l$  через  $a_{\uparrow}$  и  $t_{\uparrow}$ .

При движении вниз по наклонной плоскости брусок проходит такой же путь  $l$ , который выражается формулой

$$l = \frac{a_{\downarrow} t_{\downarrow}^2}{2}.$$

Приравнивая выражения для путей при движении бруска вверх и вниз, получим уравнение, с помощью которого можно выразить отношение времён  $\frac{t_{\downarrow}}{t_{\uparrow}}$  через отношение ускорений  $\frac{a_{\downarrow}}{a_{\uparrow}}$ . Как получить выражения для этих ускорений, сказано выше.

**15. Обозначения:**

$m$  — масса бруска;

$l$  — длина наклонной плоскости;

$\alpha$  — угол наклона плоскости;

$v_0$  — модуль скорости бруска сразу после толчка;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и плоскостью;

$\bar{a}_{\uparrow}$  — ускорение бруска при движении вверх вдоль наклонной плоскости;

$\bar{a}_{\downarrow}$  — ускорение бруска при движении вниз вдоль наклонной плоскости;

$t_{\uparrow}$  — время движения бруска вверх вдоль наклонной плоскости;

$t_{\downarrow}$  — время движения бруска вниз вдоль наклонной плоскости.

Направим ось  $x$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

а) При движении вверх по наклонной плоскости брусок проходит до остановки путь  $l$ , который выражается формулой

$$l = \frac{v_0^2}{2a_{\uparrow}}.$$

Начальная скорость связана с ускорением бруска и временем движения до остановки соотношением

$$v_0 = a_{\uparrow} t_{\uparrow}.$$

Используя последние две формулы, можно выразить  $l$  через  $a_{\uparrow}$  и  $t_{\uparrow}$ .

При движении вниз по наклонной плоскости брусок проходит такой же путь  $l$ , который выражается формулой

$$l = \frac{a_{\downarrow} t_{\downarrow}^2}{2}.$$

Приравнивая выражения для путей при движении бруска вверх и вниз, получим уравнение, с помощью которого можно выразить отношение ускорений  $\frac{a_{\downarrow}}{a_{\uparrow}}$  через отношение времён  $\frac{t_{\downarrow}}{t_{\uparrow}}$ .

б) Когда брусок движется по наклонной плоскости вверх, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вниз. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha + \mu N = ma_{\uparrow}; \\ O_y: mgcos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_{\uparrow}$  через  $g$ ,  $\alpha$  и  $\mu$ .

Когда брусок движется по наклонной плоскости вниз, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha - \mu N = ma_{\downarrow}; \\ O_y: mgcos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_{\downarrow}$  через  $g$ ,  $\alpha$  и  $\mu$ .

Приравнивая отношение найденных ускорений  $\frac{a_{\downarrow}}{a_{\uparrow}}$  отношению ускорений, выраженному через отношение времён  $\frac{t_{\downarrow}}{t_{\uparrow}}$ , получим одно уравнение, с помощью которого можно выразить  $\mu$  через величины, данные в условии.

**16. Обозначения:** $m$  — масса бруска; $\alpha$  — угол наклона плоскости; $v_0$  — модуль начальной скорости бруска; $\mu$  — коэффициент трения между бруском и плоскостью; $\bar{a}$  — ускорение бруска при движении вниз вдоль наклонной плоскости; $l$  — путь, пройденный бруском до остановки.

Направим ось  $x$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

а, б) Когда брусок движется по наклонной плоскости вниз, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mgs\sin\alpha - \mu N = ma_x; \\ O_y: mgs\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_x$  через величины, данные в условии. В данном случае  $a_x < 0$ , а это означает, что ускорение направлено вдоль наклонной плоскости вверх, то есть скорость бруска будет уменьшаться.

в) Путь, пройденный бруском до остановки, выражается формулой

$$l = \frac{v_0^2}{2a}.$$

**17. Обозначения:** $m$  — масса бруска; $L$  — длина наклонной плоскости; $\alpha$  — угол наклона плоскости; $v_0$  — модуль начальной скорости бруска; $\mu$  — коэффициент трения между бруском и плоскостью; $\bar{a}$  — ускорение бруска при движении вниз вдоль наклонной плоскости; $l$  — путь, пройденный бруском до остановки.

Направим ось  $x$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

Когда брусок движется по наклонной плоскости вниз, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона

для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha - \mu N = ma_x; \\ O_y: mgcos\alpha - N = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_x$  через величины, данные в условии. В данном случае  $a_x < 0$ , а это означает, что ускорение направлено вдоль наклонной плоскости вверх, то есть скорость бруска будет уменьшаться.

Путь, пройденный бруском до остановки (при условии, что наклонная плоскость достаточно длинная), выражается формулой

$$l = \frac{v_0^2}{2a}. \quad (2)$$

Брусок достигнет нижней точки данной наклонной плоскости длиной  $L$ , если

$$l \geq L. \quad (3)$$

Используя систему (1), а также уравнение (2) и неравенство (3), можно получить неравенство для  $v_0$ , выраженное через величины, данные в условии.

## 22. Обозначения:

$m$  — масса санок с мальчиком;

$l$  — длина горки;

$t$  — время скатывания санок с горки;

$\alpha$  — угол наклона горки;

$\mu$  — коэффициент трения между полозьями саней и снегом.

Направим ось  $x$  вдоль горки вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно горке вверх.

Когда санки с мальчиком движутся по наклонной плоскости вниз, действующая на них сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для саней с мальчиком в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha - \mu N = ma_x; \\ O_y: mgcos\alpha - N = 0. \end{cases} \quad (1)$$

По условию сани с мальчиком начали движение из состояния покоя, следовательно,  $a_x > 0$ .

Из формул для равноускоренного движения следует:

$$l = \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

Используя систему (1) и уравнение (2), можно выразить  $\mu$  через величины, данные в условии.

### 23. Обозначения:

$m$  — масса бруска;

$\alpha$  — угол наклона плоскости;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и плоскостью;

$\vec{F}_1$  — сила, которую надо прикладывать к бруску для его равномерного движения вниз;

$\vec{F}_2$  — сила, которую надо прикладывать к бруску для его равномерного движения вверх.

Направим ось  $x$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

Прежде всего, надо определить, как должна быть направлена приложенная к бруску сила: вверх вдоль наклонной плоскости или вниз?

Если брусок равномерно движется по наклонной плоскости вверх, то приложенная к нему сила может быть направлена вдоль наклонной плоскости только вверх, потому что без этой силы брусок может либо покоиться на наклонной плоскости, либо скользить по ней вниз.

А вот если брусок равномерно движется по наклонной плоскости вниз, то направление приложенной к бруску силы зависит от соотношения между углом наклона плоскости и коэффициентом трения между бруском и плоскостью.

Если брусок «сам по себе» покоится на наклонной плоскости, то для того, чтобы он равномерно двигался по наклонной плоскости вниз, к нему надо прикладывать силу, направленную вдоль наклонной плоскости тоже вниз.

Если же брусок «сам по себе» соскальзывает с наклонной плоскости, то для того, чтобы он равномерно двигался по наклонной плоскости вниз, к нему надо прикладывать силу, направленную вдоль наклонной плоскости вверх.

Из рассмотрения условия покоя тела на шероховатой наклонной плоскости (задача 8) следует, что тело может поко-

иться на наклонной плоскости, если справедливо неравенство

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \mu.$$

Подставляя в это неравенство данные из условия задачи, мы видим, что в данном случае это неравенство выполнено. Следовательно, когда брусок равномерно движется по наклонной плоскости вниз, приложенная к нему сила направлена вдоль наклонной плоскости вниз, то есть проекция этой силы на ось  $x$  положительна.

Когда брусок движется по наклонной плоскости вниз, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения и того, что брусок движется равномерно, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mgs \sin \alpha - \mu N + F_1 = 0; \\ O_y: mgs \cos \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $F_1$  через величины, данные в условии.

Когда брусок движется по наклонной плоскости вверх, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вниз. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения и того, что брусок движется равномерно, имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: mgs \sin \alpha + \mu N - F_2 = 0; \\ O_y: mgs \cos \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $F_2$  через величины, данные в условии.

### 25. Обозначения:

$m$  — масса бруска;

$\alpha$  — угол наклона плоскости;

$a$  — модуль ускорения, с которым движется плоскость;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок со стороны плоскости.

Направим ось  $x$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

По условию плоскость гладкая, то есть трением можно пренебречь, поэтому на брусок действуют только сила тяжести и сила нормальной реакции со стороны плоскости. Так как брусок покоится относительно плоскости, он движется относительно стола с таким же ускорением, как и плоскость.

Направим ось  $x$  горизонтально в направлении ускорения плоскости, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha = ma; \\ O_y: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a$  и  $N$  через величины, заданные в условии.

### 26. Обозначения:

$m$  — масса шарика;

$\vec{T}$  — сила натяжения нити;

$\alpha$  — угол наклона плоскости.

Так как шарик покоится относительно тележки, он движется относительно земли с таким же ускорением, как и тележка. Поскольку трением между тележкой и плоскостью можно пренебречь, тележка движется с ускорением

$$a = g \sin \alpha. \quad (1)$$

Направим ось  $x$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

Второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: T_x + mg \sin \alpha = ma; \\ O_y: T_y - mg \cos \alpha = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Подставляя уравнение (1) в первое уравнение системы (2), находим, что  $T_x = 0$ . Это означает, что нить перпендикулярна наклонной плоскости. В таком случае она составляет угол  $\alpha$  с вертикалью.

Поскольку  $T_x = 0$ , модуль силы натяжения нити

$$T = T_y. \quad (3)$$

**27. Обозначения:**

Движение шайбы по наклонной плоскости аналогично движению тела, брошенного под углом к горизонту.

Направим ось  $x$  от  $A$  к  $B$  (см. рис. 10.8 в учебнике), а ось  $y$  вверх вдоль наклонной плоскости.

Используя второй закон Ньютона, можно показать, что при скольжении по гладкой наклонной плоскости шайба движется с ускорением, направленным вдоль наклонной плоскости вниз, причём  $a = g \sin \alpha$ .

Используя формулы для движения тела, брошенного под углом к горизонту, получаем выражения для дальности и высоты «полёта» шайбы, в котором вместо  $g$  стоит  $a$ , а вместо  $\alpha$  стоит  $\beta$ .

### § 11. Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил

**13. Обозначения:**

$m$  — масса велосипедиста;

$v$  — модуль скорости велосипедиста;

$\alpha$  — угол наклона велотрека на повороте;

$R$  — радиус дуги поворота;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на велосипедиста.

Если покрытие велотрека скользкое, трением можно пренебречь. В таком случае со стороны велотрека на велосипедиста действует только сила нормальной реакции.

Поскольку велосипедист движется по дуге окружности, расположенной в горизонтальной плоскости, он испытывает центростремительное ускорение, направленное по горизонтали к центру окружности. Модуль ускорения выражается формулой

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности дуги поворота, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для велосипедиста в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}; \\ O_y: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Используя систему уравнений (1), можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии.

**16. Обозначения:**

$m$  — масса шайбы;

$r$  — радиус окружности, по которой движется шайба;

$v$  — скорость шайбы;

$N$  — модуль силы нормальной реакции;

$\alpha$  — угол между образующей конуса и вертикалью;

$T$  — период обращения шайбы.

Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности, по которой скользит шайба, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для шайбы в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: N \cos \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Период обращения  $T$  связан со скоростью шайбы  $v$  соотношением

$$T = \frac{2\pi r}{v}. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1) и уравнение (2), можно выразить  $T$  через величины, заданные в условии.

**23. Обозначения:**

$m$  — масса шайбы;

$R$  — радиус полусферы;

$N$  — модуль силы нормальной реакции;

$\alpha$  — угол между силой нормальной реакции и вертикалью;

$r$  — радиус окружности, по которой движется шайба;

$v$  — модуль скорости шайбы;

$T$  — период обращения шайбы.

Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности, по которой скользит шайба, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Из условия, что шайба находится на высоте  $\frac{R}{2}$  от нижней точки полусферы, следует, что

$$\cos \alpha = 0,5. \quad (1)$$

Это равенство позволяет определить значение угла  $\alpha$ .

Сделав чертёж, можно убедиться, что

$$r = R \sin \alpha. \quad (2)$$

Второй закон Ньютона для шайбы в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Период обращения  $T$  связан со скоростью шайбы  $v$  соотношением

$$T = \frac{2\pi r}{v}. \quad (4)$$

Используя систему уравнений (3) и уравнения (1, 2, 4), можно выразить  $v$  и  $T$  через величины, заданные в условии.

#### 24. Обозначения:

$m$  — масса шарика;

$R$  — радиус полусферы;

$r$  — радиус окружности, по которой движется шарик;

$\alpha$  — угол между нитью и вертикалью;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на шарик;

$T$  — модуль силы натяжения нити;

$v$  — модуль скорости шарика в первом опыте;

$v_{\min}$  — минимальная скорость шарика, при которой он не давит на полусферу.

Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности, по которой движется шарик, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Сделав чертёж, можно убедиться, что

$$r = R \cos \alpha. \quad (1)$$

а) С учётом того, что нить направлена по касательной к полусфере, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: T \sin \alpha - N \cos \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: T \cos \alpha + N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Используя уравнение (1) и систему уравнений (2), можно выразить  $N$  через величины, заданные в условии.

Согласно третьему закону Ньютона искомая сила, с которой шарик давит на полусферу, равна по модулю силе нормальной реакции, с которой полусфера действует на шарик.

б) Чтобы получить выражение для  $v_{\min}$ , можно воспользоваться уже полученным выражением для  $N$ . Приравняв  $N$  нулю, получим искомое выражение для  $v_{\min}$ .

Можно также записать второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат с учётом того, что  $N = 0$ . Мы получим:

$$\begin{cases} O_x: T \sin \alpha = \frac{mv_{\min}^2}{r}; \\ O_y: T \cos \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Используя систему уравнений (3), можно выразить  $v_{\min}$  через величины, заданные в условии.

### 25. Обозначения:

$m$  — масса груза;

$v$  — скорость поезда;

$k$  — жёсткость пружины;

$x$  — удлинение пружины;

$F_{\text{упр}}$  — модуль силы упругости пружины;

$r$  — радиус дуги поворота;

$\alpha$  — угол между нитью и вертикалью.

Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности, по которой движется поезд, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{упр}} \sin \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: F_{\text{упр}} \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Чтобы «исключить» из этой системы уравнений угол  $\alpha$ , удобно воспользоваться основным тригонометрическим тождеством ( $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ ), предварительно переписав второе уравнение системы в виде

$$F_{\text{упр}} \cos \alpha = mg.$$

Мы получим:

$$F_{\text{упр}}^2 = \left( \frac{mv^2}{r} \right)^2 + (mg)^2. \quad (1)$$

Согласно закону Гука

$$F_{\text{упр}} = kx. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $r$  через величины, заданные в условии.

### 26. Обозначения:

$m$  — масса бруска;

$v$  — частота вращения воронки;

$r$  — радиус окружности, по которой движется брусок;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и воронкой;

$\alpha$  — угол, который образующая воронки составляет с горизонталью.

Модуль центростремительного ускорения, с которым движется брусок, можно выразить через частоту вращения и радиус окружности, по которой движется брусок:

$$a = (2\pi v)^2 r.$$

Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности, по которой движется брусок, а ось  $y$  — вертикально вверх.

а) Если на брусок не действует сила трения, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha = m(2\pi v_0)^2 r; \\ O_y: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $v_0$  через величины, данные в условии.

б, в) Если частота вращения воронки не равна  $v_0$ , то брусок может оставаться в покое относительно вращающейся воронки только при условии, что на него при этом действует сила трения покоя. Эта сила направлена вдоль образующей воронки и не может превышать по модулю максимальную силу трения покоя, которую мы принимаем равной  $\mu N$ .

Если сила трения покоя направлена вдоль образующей воронки вверх и равна своему максимальному значению, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha - \mu N \cos \alpha = m(2\pi v_1)^2 r; \\ O_y: N \cos \alpha + \mu N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $v_1$  через величины, данные в условии.

Если сила трения покоя направлена вдоль образующей воронки вниз и равна своему максимальному значению, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha + \mu N \cos \alpha = m(2\pi v_2)^2 r; \\ O_y: N \cos \alpha - \mu N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $v_2$  через величины, данные в условии.

Сравнивая полученные выражения для  $v_0$ ,  $v_1$  и  $v_2$ , мы увидим, что

$$v_1 < v_0 < v_2.$$

Следовательно,  $v_{\min} = v_1$ ,  $v_{\max} = v_2$ .

Заметим, что при  $v < v_0$  действующая на брусок сила трения покоя направлена вверх вдоль образующей, а при  $v > v_0$  сила трения покоя направлена вниз вдоль образующей.

### 27. Обозначения:

- $m$  — масса шарика;
- $l_0$  — длина недеформированной пружины;
- $l$  — длина деформированной пружины;
- $k$  — жёсткость пружины;
- $r$  — радиус окружности, по которой движется шарик;
- $\alpha$  — угол между пружиной и вертикалью;
- $\omega$  — угловая скорость вращения шарика;
- $F_{\text{упр}}$  — модуль силы упругости пружины;
- $x$  — удлинение пружины.

Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности, по которой движется шарик, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} Ox: F_{\text{упр}} \sin \alpha = m\omega^2 r; \\ Oy: F_{\text{упр}} \cos \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Радиус  $r$  окружности, по которой движется шарик, можно выразить через длину  $l$  деформированной пружины и угол  $\alpha$ :

$$r = l \sin \alpha. \quad (2)$$

Согласно закону Гука

$$F_{\text{упр}} = kx. \quad (3)$$

Кроме того,

$$l = l_0 + x. \quad (4)$$

Используя уравнения (2—4), можно переписать систему уравнений (1) в виде системы двух уравнений для двух неизвестных:  $l_0$  и  $x$ . С помощью этой системы можно выразить  $l_0$  через величины, заданные в условии.

## § 12. Движение системы тел

**10. Обозначения:**

$m_{\text{б}}$  — масса бруска;

$m_{\text{ц}}$  — масса цилиндра;

$\bar{a}_{\text{б}}$  — ускорение бруска;

$\bar{a}_{\text{ц}}$  — ускорение цилиндра;

$\alpha$  — угол наклона плоскости;

$T$  — модуль силы натяжения нити;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок.

При рассмотрении движения бруска направим ось  $x_1$  вдоль наклонной плоскости вниз, а ось  $y_1$  — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на эти оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_1 x_1: m_{\text{б}} g \sin \alpha - T = m_{\text{б}} a_{\text{б}x}; \\ O_1 y_1: N - mg \cos \alpha = 0. \end{cases} \quad (1)$$

При рассмотрении движения бруска направим ось  $x_2$  вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для цилиндра в проекциях на эту ось

$$O_2x_2: -m_{\text{ц}}g + 2T = m_{\text{ц}}a_{\text{цх}}. \quad (2)$$

Вследствие того, что цилиндр подвешен на подвижном блоке, при указанном выборе осей координат выполняется соотношение

$$a_{\text{бх}} = 2a_{\text{цх}}. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $a_{\text{бх}}$  и  $a_{\text{цх}}$  через величины, заданные в условии.

Если проекции ускорений на выбранные оси  $x_1$  и  $x_2$  при подстановке численных данных из условия окажутся положительными, это будет означать, что ускорение бруска направлено вдоль наклонной плоскости вниз, а ускорение цилиндра — вертикально вверх. Если же проекции ускорений окажутся отрицательными, ускорение бруска направлено вдоль наклонной плоскости вверх, а ускорение цилиндра — вертикально вниз.

## 12. Обозначения:

$m_{\text{в}}, m_{\text{н}}$  — массы верхнего и нижнего брусков;

$m_{\text{г}}$  — масса груза;

$a$  — модуль общего ускорения тел, когда бруски движутся как единое целое;

$\mu$  — коэффициент трения между брусками;

$T$  — модуль силы натяжения нити;

$N_{\text{в}}$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на верхний брусок;

$N_{\text{н}}$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на нижний брусок;

$a_{\text{в}}$  — модуль ускорения верхнего бруска, когда бруски движутся друг относительно друга;

$a_{\text{н}}$  — модуль ускорения нижнего бруска, когда бруски движутся друг относительно друга;

$a_{\text{г}}$  — модуль ускорения груза, когда бруски движутся друг относительно друга.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

а) Если бруски движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя.

Второй закон Ньютона для верхнего бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: F_{\text{тр.пок}} = m_{\text{в}} a; \\ Oy: m_{\text{в}} g - N_{\text{в}} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Второй закон Ньютона для нижнего бруска

$$\begin{cases} Ox: T - F_{\text{тр.пок}} = m_{\text{н}} a; \\ Oy: m_{\text{н}} g + N_{\text{в}} - N_{\text{н}} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Второй закон Ньютона для груза:

$$m_{\text{г}} g - T = m_{\text{г}} a. \quad (3)$$

Из первых уравнений систем (1, 2) и уравнения (3) можно выразить  $a$  через заданные в условии величины.

Подставляя это выражение в первое уравнение системы (1), получим:

$$F_{\text{тр.пок}} = \frac{m_{\text{в}} m_{\text{г}} g}{m_{\text{в}} + m_{\text{н}} + m_{\text{г}}}. \quad (4)$$

Теперь надо учесть, что сила трения покоя не может превышать максимальной силы трения покоя. Мы принимаем её равной силе трения скольжения, то есть произведению коэффициента трения на силу нормальной реакции.

Таким образом, должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр.пок}} \leq \mu N_{\text{в}}. \quad (5)$$

Из второго уравнения системы (1) следует, что в данном случае

$$N_{\text{в}} = m_{\text{в}} g. \quad (6)$$

Из соотношений (4—6) следует: чтобы бруски двигались как единое целое, должно выполняться неравенство

$$\frac{m_{\text{в}} m_{\text{г}} g}{m_{\text{в}} + m_{\text{н}} + m_{\text{г}}} \leq \mu m_{\text{в}} g. \quad (7)$$

Из этого неравенства следует искомое неравенство для  $\mu$ .

б) Значение коэффициента трения 0,5 превышает наименьшее значение коэффициента трения между брусками,

при котором они движутся как единое целое. Поэтому выразить общее ускорение брусков через величины, заданные в условии, можно, используя системы уравнений (1, 2) и уравнение (3).

в) Значение коэффициента трения 0,1 меньше наименьшего значения коэффициента трения между брусками, при котором они движутся как единое целое. Следовательно, в этом случае бруски будут двигаться друг относительно друга, то есть между ними будут действовать силы трения скольжения.

В этом случае второй закон Ньютона для верхнего бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: \mu N_B = m_B a_B; \\ O_y: m_B g - N_B = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Второй закон Ньютона для нижнего бруска:

$$\begin{cases} O_x: T - \mu N_B = m_H a_H; \\ O_y: m_H g + N_B - N_H = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Второй закон Ньютона для груза:

$$m_G g - T = m_G a_G. \quad (10)$$

Поскольку нижний брусок связан с грузом нерастяжимой нитью,

$$a_H = a_G. \quad (11)$$

Используя уравнения (8—11), можно выразить ускорения брусков через величины, заданные в условии.

#### 16. Обозначения:

$m_1, m_2$  — массы брусков;

$k$  — жёсткость пружины;

$F$  — модуль приложенной силы;

$F_{\text{упр}}$  — модуль силы упругости пружины;

$x$  — удлинение пружины;

$\alpha$  — угол между направлением силы и горизонталью;

$N_1$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на первый брусок;

$N_2$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на второй брусок.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для первого бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: F \cos \alpha - F_{\text{упр}} = m_1 a; \\ Oy: F \sin \alpha + N_1 - m_1 g = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Второй закон Ньютона для второго бруска:

$$\begin{cases} Ox: F_{\text{упр}} = m_2 a; \\ Oy: N_2 - m_2 g = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1, 2) получим одно уравнение, с помощью которого можно выразить общее ускорение системы брусков  $a$  через величины, заданные в условии.

Подставляя это выражение в первое уравнение системы (2), получим выражение для  $F_{\text{упр}}$ . Используя закон Гука, получим выражение для  $x$ .

### 17. Обозначения:

$m_6$  — масса бруска;

$m_r$  — масса гири;

$T$  — модуль силы натяжения нити;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок;

$a$  — модуль ускорения системы тел.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: T = m_6 a; \\ Oy: m_6 g - N = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Второй закон Ньютона для гири:

$$Oy: m_r g - T = m_r a. \quad (2)$$

Согласно условию

$$a = \frac{g}{5}. \quad (3)$$

Складывая первое уравнение системы (1) с уравнением (2), получим уравнение, с помощью которого можно выра-

зить  $a$  через отношение  $\frac{m_6}{m_r}$ . Подставляя это выражение в уравнение (3), получим уравнение, из которого можно найти это отношение.

**18. Обозначения:**

$m_1$  — масса более массивного груза;

$m_2$  — масса менее массивного груза;

$a$  — модуль ускорения тел грузов;

$T$  — модуль силы натяжения нити;

$F_{\text{упр}}$  — модуль силы упругости пружины динамометра (равный показаниям динамометра).

Направим ось  $x$  вертикально вниз.

Второй закон Ньютона в проекциях на эту ось для первого груза:

$$m_1 g - T = m_1 a. \quad (1)$$

Второй закон Ньютона для второго груза:

$$m_2 g - T = -m_2 a. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $a$  и  $T$  через величины, заданные в условии.

Поскольку по условию массой блока можно пренебречь (блок лёгкий), из условия равновесия блока следует, что

$$F_{\text{упр}} = 2T.$$

**19. Обозначения:**

$m_1, m_2$  — массы брусков;

$a$  — модуль ускорения брусков;

$T$  — модуль силы натяжения нити;

$T_0$  — модуль силы натяжения нити, при котором нить разрывается;

$t$  — время движения брусков с момента, когда к ним прикладывают силы;

$t_p$  — промежуток времени от момента, когда к брускам прикладывают силы, до момента разрыва нити.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

Второй закон Ньютона в проекциях на ось  $x$  для первого бруска:

$$-\alpha t + T = m_1 a. \quad (1)$$

Второй закон Ньютона для второго бруска:

$$2\alpha t - T = m_2 a. \quad (2)$$

Подставляя в эти уравнения  $t = t_p$  и  $T = T_0$ , получаем систему двух уравнений с двумя неизвестными:  $t_p$  и  $a$ . Решая эту систему, находим выражение для  $t_p$  через величины, заданные в условии.

### 20. Обозначения:

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок;

$T_1$  — сила натяжения нити, к которой подвешена гиря массой  $m$ ;

$T_2$  — сила натяжения нити, к которой подвешена гиря массой  $2m$ ;

$\mu$  — коэффициент трения между бруском и столом;

$a$  — модуль ускорения тел.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

Согласно условию в начальный момент тела покоятся. Поскольку надо учитывать трение, прежде всего надо выяснить: начнут ли тела двигаться? Нахождение ответа на этот вопрос является необходимым условием полного решения задачи.

Предположим, что тела останутся в покое. Тогда между бруском и столом действуют силы трения покоя.

С учётом второго закона Ньютона для гирь, второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: 2mg - F_{\text{тр.пок}} - mg = 0; \\ Oy: 4mg - N = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из этой системы уравнений следует:

$$F_{\text{тр.пок}} = mg, \quad (2)$$

$$N = 4mg. \quad (3)$$

Сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения:

$$F_{\text{тр.пок}} \leq \mu N. \quad (4)$$

Из уравнений (2—4) следует, что брусок останется в покое, если выполнено условие

$$\mu \geq 0,25.$$

Согласно приведённым в условии данным, это неравенство не выполняется. Следовательно, тела начнут двигаться.

В таком случае между бруском и столом будут действовать силы трения скольжения. Второй закон Ньютона для бруска и гири в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} Ox: T_2 - T_1 - \mu N = 4ma; \\ Oy: 4mg - N = 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$Oy: 2mg - T_2 = 2ma; \quad (6)$$

$$Oy: mg - T_1 = -ma. \quad (7)$$

Из системы уравнений (5) следует, что

$$T_2 - T_1 - 4\mu mg = 4ma. \quad (8)$$

Уравнения (6—8) представляют собой систему трёх уравнений с тремя неизвестными:  $T_1$ ,  $T_2$  и  $a$ . Решая эту систему, находим выражения для этих величин через величины, заданные в условии.

### 21. Обозначения:

$m_б$  — масса бруска;

$m_т$  — масса тележки;

$N_б$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок;

$N_т$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на тележку;

$a$  — модуль общего ускорения тел в случае, когда они движутся как единое целое.

Условие, при котором тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, можно найти, выяснив, при каком условии тележка и брусок будут двигаться как единое целое. Тогда при невыполнении этого условия тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, то есть тележка будет «выдёргиваться» из-под бруска.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

Если тележка и брусок движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. В таком случае ускорения тел одинаковы, и второй закон Ньютона для тележки и бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F - F_{\text{тр.пок}} = m_{\text{т}}a; \\ O_y: m_{\text{т}}g + N_{\text{б}} - N_{\text{т}} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{тр.пок}} = m_{\text{б}}a; \\ O_y: m_{\text{б}}g - N_{\text{б}} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1—2), получим:

$$a = \frac{F}{m_{\text{б}} + m_{\text{т}}}. \quad (3)$$

Подставляя это выражение для ускорения в первое уравнение системы (2), получаем:

$$F_{\text{тр.пок}} = F \frac{m_{\text{б}}}{m_{\text{б}} + m_{\text{т}}}. \quad (4)$$

Учтём теперь, что сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения, равной в данном случае  $\mu N_{\text{б}}$ . Используя второе уравнение системы (2), находим, что должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр.пок}} \leq \mu m_{\text{б}}g. \quad (5)$$

Подставляя в это неравенство выражение (4), получаем искомое неравенство для модуля силы  $F$ , выраженное через величины, заданные в условии.

## 22. Обозначения:

$m_{\text{б}}$  — масса бруска;

$m_{\text{т}}$  — масса тележки;

$N_{\text{б}}$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок;

$N_{\text{т}}$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на тележку;

$a$  — модуль общего ускорения тел в случае, когда они движутся как единое целое.

Условие, при котором тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, можно найти, выяснив предварительно, при каком условии тележка и брусок будут двигаться как единое целое. Тогда при невыполнении этого условия тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, то есть тележка будет «выдёргиваться» из-под бруска.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

Если тележка и брусок движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. В таком случае ускорения тел одинаковы, и второй закон Ньютона для тележки и бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{тр.пок}} = m_{\text{т}}a; \\ O_y: m_{\text{т}}g + N_{\text{б}} - N_{\text{т}} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} O_x: F - F_{\text{тр.пок}} = m_{\text{б}}a; \\ O_y: m_{\text{б}}g - N_{\text{б}} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1—2), получим:

$$a = \frac{F}{m_{\text{б}} + m_{\text{т}}}. \quad (3)$$

Подставляя это выражение для ускорения в первое уравнение системы (1), получаем:

$$F_{\text{тр.пок}} = F \frac{m_{\text{т}}}{m_{\text{б}} + m_{\text{т}}}. \quad (4)$$

Учтём теперь, что сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения, равной в данном случае  $\mu N_{\text{б}}$ . Используя второе уравнение системы (2), находим, что должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр.пок}} \leq \mu m_{\text{б}}g. \quad (5)$$

Подставляя в это неравенство выражение (4), получаем искомое неравенство для модуля силы  $F$ , выраженное через величины, заданные в условии.

Обратите внимание на то, что сила, которую надо приложить к массивному бруску, чтобы сорвать его с лёгкой тележ-

ки, намного больше, чем сила, которую надо приложить к лёгкой тележке, чтобы выдернуть её из-под массивного бруска (сравните с задачей 21)!

**23. Обозначения:**

$m_d$  — масса доски;

$m_b$  — масса бруска;

$\vec{F}$  — прикладываемая к доске сила;

$N_b$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок;

$N_d$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на доску;

$F_{\text{тр.пок}}$  — модуль сил трения покоя, действующих на брусок и доску.

Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

Если доска и брусок движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. В таком случае ускорения тел одинаковы, и второй закон Ньютона для доски и бруска в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: F - F_{\text{тр.пок}} = m_d a; \\ Oy: m_d g + N_b - N_d = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Ox: F_{\text{тр.пок}} = m_b a; \\ Oy: m_b g - N_b = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1—2), получим:

$$a = \frac{F}{m_b + m_d}. \quad (3)$$

Подставляя это выражение для ускорения в первое уравнение системы (2), получаем:

$$F_{\text{тр.пок}} = F \frac{m_b}{m_b + m_d}. \quad (4)$$

Учтём теперь, что сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения, равной в данном случае  $\mu N_b$ . Используя второе уравнение системы (2), находим, что должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр.пок}} \leq \mu m_b g. \quad (5)$$

Подставляя в это неравенство выражение (4), получаем неравенство для модуля силы  $F$ , выраженное через величины, заданные в условии. Подставляя значения этих величин, находим, что в данном случае условие (5) не выполняется, то есть брусок начнёт скользить по доске.

В таком случае между бруском и доской будут действовать силы трения скольжения, равные произведению коэффициента трения на модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок. Используя это выражение для силы трения скольжения, получаем из второго закона Ньютона для доски и бруска:

$$F - \mu m_6 g = m_d a_d, \quad (6)$$

$$\mu m_6 g = m_6 a_6. \quad (7)$$

С помощью уравнений (6, 7) можно выразить ускорения доски и бруска через величины, заданные в условии.

Брусок соскользнёт с доски в тот момент, когда пройденный доской путь будет больше, чем путь, пройденный бруском, на длину доски. В этот момент выполняется равенство

$$l_d - l_6 = L. \quad (8)$$

Пути, пройденные бруском и доской, можно выразить через их ускорения и время движения:

$$l_d = \frac{a_d t^2}{2}, \quad (9)$$

$$l_6 = \frac{a_6 t^2}{2}. \quad (10)$$

Подставляя эти выражения в уравнение (8), выражаем  $t$  через величины, заданные в условии.

### Глава III. Законы сохранения в механике

#### § 13. Импульс. Закон сохранения импульса

19. Изменение импульса Земли обусловлено силой притяжения со стороны Солнца. Можно считать, что в течение одной секунды направление этой силы изменяется очень мало.

Используя для этой силы формулу закона всемирного тяготения, справочные данные и данные из условия, можно найти искомое изменение импульса Земли. Обратите внимание на то, что импульс Земли изменяется только по направлению.

**20.** в) Используя уравнение, выражающее начальную высоту камня через время его полёта, начальную скорость и угол бросания, можно выразить начальную скорость камня через величины, данные в условии.

**23.** Используя второй закон Ньютона и формулу для силы трения скольжения, можно выразить ускорение бруска при его движении вверх вдоль наклонной плоскости. Исходя из найденного значения ускорения, можно определить время движения бруска до остановки. Оно оказывается больше  $0,3$  с, но меньше  $1$  с.

Поскольку время движения бруска до остановки больше, чем  $0,3$  с, модуль изменения импульса бруска за это время равен модулю равнодействующей приложенных к бруску сил, умноженному на время действия силы ( $0,3$  с).

Поскольку время движения бруска до остановки меньше, чем  $1$  с, модуль изменения импульса бруска за это время равен его начальному импульсу.

**25.** Модуль изменения импульса шайбы в результате столкновения можно найти, используя теорему Пифагора.

Согласно закону сохранения импульса модуль импульса куска льда сразу после столкновения равен модулю изменения импульса шайбы. Это позволяет определить скорость куска льда сразу после столкновения.

Ускорение куска льда при его скольжении после столкновения можно определить с помощью второго закона Ньютона, зная коэффициент трения между льдом и льдом.

Зная скорость куска льда сразу после столкновения и его ускорение при скольжении, можно найти путь, пройденный куском льда до остановки.

**34.** Из закона сохранения импульса следует, что импульс второго шара после столкновения равен векторной сумме начальных импульсов шаров. Найти его можно с помощью теоремы Пифагора.

**36. Обозначения:**

$m$  — масса любого шарика;

$\vec{v}_1, \vec{v}_2$  — скорости шариков до столкновения;

$\vec{u}_1, \vec{u}_2$  — скорости шариков после столкновения.

Суммарный импульс шариков до столкновения:

$$\vec{p}_н = m(\vec{v}_1 + \vec{v}_2). \quad (1)$$

Суммарный импульс шариков после столкновения:

$$\vec{p}_к = m(\vec{u}_1 + \vec{u}_2). \quad (2)$$

Согласно закону сохранения импульса

$$\vec{p}_к = \vec{p}_н. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $\vec{u}_2$  через  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$  и  $\vec{u}_1$ . Чтобы найти  $u_2$ , можно воспользоваться теоремой Пифагора, учитывая, что  $\vec{v}_1$  и  $\vec{u}_1$  направлены вдоль одной прямой, а  $\vec{v}_2$  перпендикулярна этой прямой (для этого удобно сначала вычесть из вектора  $\vec{v}_1$  вектор  $\vec{u}_1$ , а затем прибавить вектор  $\vec{v}_2$ ).

**37.** Используя формулы для движения тела, брошенного под углом к горизонту, можно доказать, что время  $t_{\text{под}}$  подъёма мячика связано с максимальной высотой  $h$  соотношением

$$h = \frac{gt_{\text{под}}^2}{2}.$$

Время всего полёта мячика в 2 раза больше времени подъёма. Изменение импульса мячика за всё время полёта равно импульсу силы тяжести за это время.

#### § 14. Условия применения закона сохранения импульса

**16.** Непосредственно перед попаданием пули в шар скорость шара была равна нулю.

**22. Обозначения:**

$m_{\text{т}}$  — масса тележки;

$m_{\text{ч}}$  — масса человека;

$L$  — длина тележки;

$v_{\text{т}}$  — скорость тележки относительно земли;

- $v_{\text{ч}}$  — скорость человека относительно земли;  
 $l_{\text{т}}$  — путь, пройденный тележкой относительно земли;  
 $l_{\text{ч}}$  — путь, пройденный человеком относительно земли;  
 $t$  — промежуток времени, в течение которого человек переходит от одного края тележки до другого.

Направим ось  $x$  горизонтально в направлении движения человека.

Поскольку трением между тележкой и рельсами по условию можно пренебречь, проекция суммарного импульса тележки и человека на ось  $x$  не изменяется, то есть остаётся равной нулю (в начальный момент человек и тележка покоились).

Отсюда следует, что когда человек начнёт идти по тележке, она начнёт перемещаться в противоположном направлении. Так как проекция суммарного импульса человека и тележки на ось  $x$  равна нулю, получаем для проекций скоростей:

$$m_{\text{т}}v_{\text{т}x} + m_{\text{ч}}v_{\text{ч}x} = 0.$$

Отсюда для модулей скоростей следует:

$$m_{\text{т}}v_{\text{т}} = m_{\text{ч}}v_{\text{ч}}. \quad (1)$$

За время движения по тележке человек и тележка пройдут пути, выражаемые формулами

$$l_{\text{ч}} = v_{\text{ч}}t, \quad (2)$$

$$l_{\text{т}} = v_{\text{т}}t. \quad (3)$$

Поскольку человек и тележка перемещаются относительно земли в противоположных направлениях,

$$l_{\text{ч}} + l_{\text{т}} = L. \quad (4)$$

Чтобы убедиться в справедливости последнего соотношения, полезно сделать рисунок, на котором изображены начальное и конечное положения человека и тележки.

Используя уравнения (1—4), можно выразить  $l_{\text{т}}$  через величины, заданные в условии.

**27.** Удобно рассмотреть сначала перемещение одного рыбака при покоящемся относительно лодки другом рыбаке и найти, насколько при этом перемещается лодка, предполагая, что рыбак перемещается относительно земли с постоян-

ной скоростью (величина этой скорости не имеет значения, потому что она сократится в ответе). После этого можно рассмотреть перемещение второго рыбака при покоящемся относительно лодки первом рыбаке. Надо учесть, что рыбаки перемещаются в противоположных направлениях, поэтому и соответствующие перемещения лодки будут также происходить в противоположных направлениях.

**28.** Удобно направить одну ось координат по течению, другую — перпендикулярно течению и записать закон сохранения импульса в проекциях на оси координат.

**29.** Используя формулы, описывающие движение тела, брошенного вертикально вверх, можно доказать, что через 3 с после броска первый шар находился на высоте 15 м и двигался со скоростью 10 м/с, направленной вертикально вниз.

Скорость слипшихся шаров сразу после удара можно найти, воспользовавшись законом сохранения импульса. В дальнейшем движение слипшихся шаров можно рассматривать как движение тела, брошенного под углом к горизонту, учитывая, что начальная скорость тела направлена под углом вниз.

### § 15. Реактивное движение. Освоение космоса

8. Обозначения:

$m_p$  — масса ракеты без первой ступени;

$m_c$  — масса первой ступени;

$h$  — высота, на которой произошло отделение ступени;

$v_x$  — проекция скорости первой ступени относительно земли, сразу после отделения, на ось  $x$ , направленную вертикально вниз;

$t$  — время движения первой ступени от момента отделения до падения на землю;

$V_x$  — проекция скорости ракеты непосредственно перед отделением ступени;

$u_x$  — проекция скорости ракеты сразу после отделения ступени.

Из формул, описывающих движение тела, брошенного вертикально, получаем:

$$v_x t + \frac{gt^2}{2} = h. \quad (1)$$

Закон сохранения импульса при отделении ступени можно записать в проекциях на ось  $x$  в виде

$$(m_p + m_c)V_x = m_p u_x + m_c v_x. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $v_x$  и  $m_c$  через величины, заданные в условии.

20. См. указания к задаче 8.

### § 16. Механическая работа. Мощность

31. Обозначения:

$m_B$  — масса ведра с водой;

$m_{\text{ц}}$  — масса цепи;

$h$  — длина цепи.

Работа по подъёму ведра с водой и цепи численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости силы от перемещения. В данном случае эта фигура — трапеция с основаниями  $(m_B + m_{\text{ц}})g$  и  $m_B g$  и высотой  $h$ .

32. Обозначения:

$m$  — масса куба;

$k$  — жёсткость пружины;

$h$  — высота, на которой в конечный момент находится нижняя грань куба.

а) Сначала пружину надо растянуть настолько, чтобы оторвать куб от пола. Из закона Гука следует, что при этом деформация пружины увеличивается от нуля до величины

$$x = \frac{mg}{k}.$$

Совершаемую при этом работу можно выразить через  $m$ ,  $g$  и  $k$ , воспользовавшись законом Гука, а также тем, что работа численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости силы от перемещения. В данном случае эта фигура — треугольник.

б) при подъёме куба прикладываемая к пружине сила остаётся постоянной, поэтому работа равна произведению силы (равной весу куба) на перемещение  $h$ .

33. Обозначения:

$m$  — масса груза;

$k$  — жёсткость пружины;

- $F_0$  — модуль силы, которая приложена к пружине в начальный момент;
- $h$  — высота, на которой находится нижняя точка груза в конечный момент;
- $A_1$  — работа, которую совершает приложенная к пружине сила за время от начального момента до момента, когда груз оторвётся от пола;
- $A_2$  — работа, которую совершает приложенная к пружине сила за время от момента, когда груз оторвался от пола, до момента, когда нижняя точка груза оказалась на высоте  $h$ .
- $A$  — работа, которую совершает приложенная к пружине сила за время от начального момента до момента, когда нижняя точка груза оказалась на высоте  $h$ .

При растяжении пружины от начального момента до момента, когда груз оторвётся от пола, приложенная к пружине сила увеличивается от  $F_0$  до  $mg$ .

Работа  $A_1$  этой силы численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости силы от перемещения. В данном случае эта фигура — трапеция с основаниями, численно равными  $F_0$  и  $mg$ . Высоту трапеции можно определить, найдя начальную и конечную деформацию пружины с помощью закона Гука. Благодаря этому можно выразить  $A_1$  через  $F_0$ ,  $m$  и  $k$ .

При подъёме груза прикладываемая к пружине сила остаётся постоянной, поэтому работа  $A_2$  равна произведению силы (равной весу груза) на перемещение  $h$ .

По условию

$$A = A_1 + A_2.$$

Подставив в это уравнение полученные выражения для  $A_1$  и  $A_2$ , получим уравнение, с помощью которого можно выразить  $h$  через величины, данные в условии.

#### 40. Обозначения:

- $m$  — масса лифта;
- $a$  — модуль ускорения лифта;
- $t$  — время подъёма (первые 4 с);
- $T$  — модуль силы, приложенной к лифту со стороны подвеса;
- $s$  — модуль перемещения лифта за время  $t$ ;
- $A$  — работа по подъёму лифта за время  $t$ .

Поскольку ускорение лифта постоянно, равнодействующая приложенных к нему сил также постоянна. Следовательно

но, со стороны подвеса к лифту приложена постоянная сила  $\vec{T}$ . Работа этой силы

$$A = Ts. \quad (1)$$

Из второго закона Ньютона в проекциях на направленную вверх ось следует:

$$T - mg = ma. \quad (2)$$

Перемещение лифта

$$s = \frac{at^2}{2}. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $A$  через величины, заданные в условии.

**41.** Из приведённой зависимости  $v_x(t)$  следует, что в течение указанного времени тело движется в одном направлении с постоянным ускорением, причём его скорость увеличивается. Отсюда следует, что равнодействующая приложенных к телу сил постоянна, причём направление равнодействующей совпадает с направлением перемещения тела. Поэтому работа равнодействующей положительна и равна произведению модуля силы на модуль перемещения:

$$A = Fs.$$

Модуль равнодействующей  $F$  можно найти, используя второй закон Ньютона: масса тела задана в условии, а ускорение тела можно определить по виду зависимости  $v_x(t)$ .

Модуль перемещения тела можно найти, используя формулу для равноускоренного движения

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Значения  $v_{0x}$  и  $a_x$  можно определить, используя формулу зависимости  $v_x(t)$ .

**42.** Поскольку брусок вначале покоился, он начнёт двигаться в направлении равнодействующей приложенных к нему сил. Поэтому работа равнодействующей равна произведению её модуля на модуль перемещения бруска.

Модуль равнодействующей можно найти с помощью теоремы Пифагора.

Работа каждой из двух приложенных сил равна произведению модуля этой силы на модуль перемещения и на косинус угла между направлениями силы и перемещения. Поскольку направление перемещения в данном случае совпадает с направлением равнодействующей, косинус угла равен отношению модуля данной силы к модулю равнодействующей.

**43. Обозначения:**

$m$  — масса груза;

$x_0$  — растяжение пружины, когда груз находится в равновесии;

$x_1$  — растяжение пружины в конечном состоянии;

$d$  — расстояние, на которое поднимают груз;

$\vec{F}$  — сила, прикладываемая к грузу при его подъёме.

Работа, которую должна совершить сила  $\vec{F}$ , чтобы приподнять груз, численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости прикладываемой силы  $\vec{F}$  от перемещения. По условию груз поднимают равномерно, поэтому можно считать, что в каждый момент он находится в равновесии.

В начальный момент  $F_0 = 0$ .

В конечный момент

$$x_1 = x_0 - d, \quad (1)$$

$$F_1 = mg - kx_1. \quad (2)$$

Жёсткость пружины  $k$  можно выразить через массу груза и растяжение пружины, когда груз находится в положении равновесия:

$$k = \frac{mg}{x_0}. \quad (3)$$

Используя формулы (1) и (3), можно выразить  $F_1$  через величины, данные в условии.

В нашем случае фигура, заключённая под графиком зависимости прикладываемой силы от перемещения, — прямоугольный треугольник с катетами, равными  $F_1$  и  $d$ . Его площадь численно равна искомой работе:

$$A = \frac{F_1 d}{2}.$$

**44. Обозначения:** $m$  — масса бруска; $k$  — жёсткость пружины; $x_1$  — деформация пружины при равномерном скольжении бруска по столу.

а) Брусок сдвинется с места, когда приложенная к нему со стороны пружины сила упругости превысит максимальную силу трения покоя, которую мы принимаем при решении задач равной силе трения скольжения. Поэтому согласно закону Гука

$$kx_1 = F_{\text{тр.ск.}}$$

Силу трения скольжения можно выразить через данные в условии величины.

б) Работа, совершаемая силой  $\vec{F}$  за время от начального момента до момента, когда брусок начал двигаться, выражается формулой

$$A_1 = \frac{kx_1 \cdot x_1}{2}.$$

в) При равномерном движении бруска прикладываемая к пружине сила уравнивает силу трения скольжения.

г) Работа, совершаемая силой  $\vec{F}$  при равномерном движении бруска, выражается формулой

$$A_2 = F_{\text{тр.ск.}} \cdot d.$$

Искомая работа:

$$A = A_1 + A_2.$$

**45. Обозначения:** $P$  — мощность двигателя; $l$  — расстояние, пройденное автомобилем за время, в течение которого расход бензина составил 6 л; $t$  — время, за которое автомобиль проехал это расстояние; $v$  — скорость автомобиля; $Q$  — количество теплоты, выделившееся при сгорании бензина; $m_6$  — масса израсходованного бензина; $V_6$  — объём израсходованного бензина; $q$  — удельная теплота сгорания бензина;

$\eta$  — коэффициент полезного действия двигателя, выраженный дробью.

Совершённая двигателем работа за время, в течение которого был израсходован указанный объём бензина, выражается формулой

$$A = Pt. \quad (1)$$

Время движения:

$$t = \frac{l}{v}. \quad (2)$$

Количество теплоты, выделившееся при сгорании бензина:

$$Q = m_{\text{б}}q. \quad (3)$$

Массу бензина можно выразить через его плотность и объём.

$A$  связана с  $Q$  соотношением

$$A = \eta Q. \quad (4)$$

Используя уравнения (1—4) и выражение массы бензина через его объём и плотность, можно выразить  $\eta$  через величины, заданные в условии.

**46.** Работа силы тяжести  $A_{\text{т}} = -mgh$ , где  $h$  — высота, на которой окажется тело через  $1$  с после броска. Эту высоту можно найти, используя формулы для движения тела, брошенного под углом к горизонту.

**47.** Обозначения:

$m$  — масса пластины;

$k$  — жёсткость пружины;

$x_1$  — деформация пружины в момент, когда пластина отрывается от стола.

Работа  $A_1$  по растяжению пружины до момента, когда пластина оторвётся от стола, выражается формулой

$$A_1 = \frac{kx_1^2}{2}.$$

Деформацию  $x_1$  пружины в момент отрыва пластины от стола можно найти из закона Гука и условия, что сила упругости пружины уравновешивает силу тяжести.

Работа  $A_2$  по подъёму пластины на заданную высоту равна произведению силы тяжести на эту высоту.

Искомая работа

$$A = A_1 + A_2.$$

**48.** При движении шайбы вверх и вниз вдоль наклонной плоскости работа силы трения скольжения одинакова, потому что одинаков модуль этой силы  $F_{\text{тр}}$  и модуль перемещения  $s$ . В обоих случаях сила скольжения направлена противоположно перемещению, поэтому полная работа силы трения равна

$$A_{\text{тр}} = -2F_{\text{тр}}s.$$

Модуль силы трения скольжения можно выразить через данные в условии величины.

Модуль  $s$  перемещения шайбы при движении вдоль наклонной плоскости вверх можно выразить через начальную скорость шайбы  $v_0$  и её ускорение при движении вдоль наклонной плоскости вверх.

Используя второй закон Ньютона, это ускорение можно выразить через данные в условии величины.

## § 17. Энергия и работа.

### Потенциальная и кинетическая энергия

**20.** Обозначения:

$m$  — масса шарика;

$h_1$  — начальная глубина шарика;

$h_2$  — высота подъёма шарика;

$F_A$  — модуль силы Архимеда;

$F_c$  — модуль средней силы сопротивления воды (равный отношению модуля работы силы сопротивления к пройденному в воде пути).

По условию начальная и конечная кинетическая энергия шарика равна нулю. Поэтому, согласно теореме об изменении кинетической энергии, суммарная работа всех приложенных к шарiku сил при переходе из начального положения в конечное равна нулю. Следовательно, учитывая знаки работы приложенных к шарiku сил, можно записать:

$$F_A h_1 - mg(h_1 + h_2) - F_c h_1 = 0.$$

Модуль силы Архимеда можно выразить через объём шарика и плотность воды, а объём шарика — через его массу и плотность. Поэтому из написанного уравнения можно выразить  $F_c$  через данные в условии величины.

**32. Обозначения:** $m$  — масса шайбы; $v_0$  — начальная скорость шайбы; $k$  — жёсткость пружины; $x_{\max}$  — модуль максимальной деформации пружины.

Согласно теореме об изменении кинетической энергии изменение кинетической энергии шайбы равно работе равнодействующей приложенных к шайбе сил. Следовательно,

$$-\frac{mv_0^2}{2} = -\frac{kx_{\max}^2}{2}.$$

Используя это уравнение, можно выразить  $x_{\max}$  через величины, заданные в условии.

**34. Обозначения:** $k_1$  и  $k_2$  — жёсткость пружин; $x_1$  и  $x_2$  — деформации пружин под весом груза.

Потенциальные энергии пружин выражаются формулами

$$E_{p1} = \frac{k_1 x_1^2}{2},$$

$$E_{p2} = \frac{k_2 x_2^2}{2}.$$

Силы упругости пружин одинаковы: каждая из них равна весу груза. Поэтому деформации пружин под весом груза можно выразить через массу груза и жёсткости пружин. Благодаря этому можно выразить отношение потенциальных энергий пружин через  $k_1$  и  $k_2$ .

**35.** Согласно теореме об изменении кинетической энергии кинетическая энергия  $E_k$  бруска у основания наклонной плоскости равна работе равнодействующей приложенных к бруску сил, то есть сумме работы силы тяжести  $A_{\text{тяж}}$  и работы силы трения скольжения  $A_{\text{тр}}$ :

$$E_k = A_{\text{тяж}} + A_{\text{тр}}.$$

Работа силы тяжести равна произведению силы тяжести на высоту наклонной плоскости.

Модуль работы силы трения равен произведению силы трения скольжения на длину наклонной плоскости. Надо учесть, что работа силы трения скольжения отрицательна.

Сила трения скольжения равна произведению коэффициента трения на силу нормальной реакции.

Силу нормальной реакции можно выразить через данные в условии величины, используя второй закон Ньютона.

**36. Обозначения:**

$m$  — масса пули;

$l$  — расстояние от винтовки до щита;

$v_1$  — модуль скорости пули в момент вылета из винтовки;

$v_2$  — модуль скорости пули сразу после пробивания доски;

$t_1$  — время движения пули при первом выстреле;

$t_2$  — время движения пули при втором выстреле;

$d$  — расстояние между местами попадания пули в щит при первом и втором выстрелах;

$A$  — работа, которую совершила пуля при пробивании доски (то есть работа силы, действовавшей со стороны пули на доску);

$A_c$  — работа силы сопротивления, действовавшей со стороны доски на пулю.

Согласно теореме об изменении кинетической энергии при втором выстреле

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = A_c. \quad (1)$$

Согласно третьему закону Ньютона сила, действующая со стороны пули на доску, равна по модулю силе сопротивления, действующей со стороны доски на пулю, а направления этих сил противоположны. Поэтому работа  $A$ , совершённая пулей при пробивании доски, связана с работой  $A_c$  силы сопротивления соотношением

$$A = -A_c.$$

При первом выстреле пуля за время пролёта до щита смещается по вертикали вниз на расстояние

$$h_1 = \frac{gt_1^2}{2}. \quad (2)$$

При втором выстреле смещение пули по вертикали составляет

$$h_2 = \frac{gt_2^2}{2}. \quad (3)$$

Согласно условию

$$h_2 - h_1 = d. \quad (4)$$

Времена движения пули при первом и втором выстреле выражаются формулами

$$t_1 = \frac{l}{v_1}, \quad (5)$$

$$t_2 = \frac{l}{v_2}. \quad (6)$$

Используя уравнения (2—6), можно выразить  $v_2$  через величины, данные в условии, и затем подставить это выражение в формулу (1).

### § 18. Закон сохранения энергии в механике

#### 15. Обозначения:

$M$  и  $m$  — массы шаров ( $M > m$ );

$v$  — модуль скоростей шаров, когда стержень находится в вертикальном положении (поскольку шары находятся на одинаковых расстояниях от оси вращения, модули их скоростей в любой момент равны).

При переходе стержня от горизонтального положения к вертикальному потенциальная энергия более массивного шара уменьшается на  $Mgl$ , а потенциальная энергия менее массивного шара увеличивается на  $mgl$ .

Поскольку в начальном состоянии шары покоились, согласно закону сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = Mgl - mgl.$$

Используя это уравнение, можно выразить  $v$  через величины, данные в условии.

#### 19. Обозначения:

$m$  — масса шара;

$k$  — жёсткость пружины;

$x_0$  — удлинение пружины, когда подвешенный к ней шар находится в равновесии;

$v$  — модуль скорости шара при прохождении равновесия.

Когда подвешенный к пружине шар находился в равновесии, сила упругости пружины уравновешивала действующую на шар силу тяжести. Отсюда следует, что

$$kx_0 = mg. \quad (1)$$

По условию шар подняли до положения, при котором пружина не деформирована, то есть на высоту, равную  $x_0$ . Сопоставим нулевое значение потенциальной энергии шара и положение равновесия.

Тогда потенциальная энергия поднятого шара равна  $mgx_0$ , его кинетическая энергия равна нулю, и потенциальная энергия пружины в начальном положении (шар поднят) тоже равна нулю.

При прохождении положения равновесия механическая энергия системы равна сумме кинетической энергии шара и потенциальной энергии пружины. Следовательно, из закона сохранения энергии в механике следует, что

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx_0^2}{2} = mgx_0. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии.

**26. Обозначения:**

$m$  — масса камня;

$v_0$  — модуль начальной скорости камня;

$v$  — модуль скорости камня на высоте  $h = 15$  м.

Согласно закону сохранения энергии в механике

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2}.$$

Используя это уравнение, можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии.

**27. Обозначения:**

$m$  — масса камня;

$v_0$  — модуль начальной скорости камня;

$h$  — искомая высота.

Согласно закону сохранения энергии в механике

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (1)$$

По условию

$$v_1 = \frac{v_0}{3}. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $h$  через  $v_0$ .

**28. Обозначения:** $m$  — масса бруска; $k$  — жёсткость пружины; $x_1$  — начальное удлинение пружины; $x_2$  — удлинение пружины в данный момент (2 см); $v$  — модуль скорости бруска в тот же момент.

Согласно закону сохранения энергии в механике

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$

Используя это уравнение, можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии.

**29. Обозначения:** $m$  — масса тела; $h$  — начальная высота тела; $E_0$  — начальная механическая энергия тела.

Когда тело пролетает половину пути, его потенциальная

энергия  $E_p = \frac{mgh}{2} = \frac{E_0}{2}$ .

Если бы сопротивлением воздуха можно было пренебречь, полная механическая энергия тела сохранялась бы, поэтому на середине пути кинетическая энергия была бы тоже равна  $\frac{E_0}{2}$ . Однако в действительности из-за сопротивления воздуха кинетическая энергия меньше этого значения.

**30. Обозначения:** $m_1, m_2$  — массы брусков; $v_1, v_2$  — модули скоростей брусков при их движении после пережигания нити; $E$  — потенциальная энергия сжатой пружины; $E_{k1}, E_{k2}$  — кинетические энергии брусков при их движении после пережигания нити.

В данном случае сохраняется суммарный импульс брусков и полная механическая энергия системы «бруски + пружина». Поэтому можно записать:

$$m_1v_1 = m_2v_2, \quad (1)$$

$$\frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} = E. \quad (2)$$

Из первого уравнения следует, что

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (3)$$

Отсюда получаем:

$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (4)$$

Используя уравнения (1—4), можно выразить кинетические энергии брусков через величины, заданные в условии.

### 31. Обозначения:

$m$  — масса пули;

$M$  — масса бруска;

$v_0$  — модуль скорости пули;

$v_6$  — модуль скорости бруска с застрявшей в нём пулей сразу после попадания пули в брусок;

$v$  — скорость бруска с пулей непосредственно перед падением на пол;

$h$  — высота стола.

Из закона сохранения импульса следует, что

$$mv_0 = (M + m)v_6. \quad (1)$$

Когда брусок с пулей слетает со стола, он движется по параболе, как тело, брошенное горизонтально. Из закона сохранения энергии в механике следует, что

$$\frac{(M + m)v^2}{2} = \frac{(M + m)v_6^2}{2} + (M + m)gh. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии.

### 32. Обозначения:

$m$  — масса пули;

$M$  — масса бруска;

$v_0$  — модуль скорости пули;

$v_6$  — модуль скорости бруска с застрявшей в нём пулей сразу после попадания пули в брусок;

$F$  — модуль силы сопротивления движению пули;

$s$  — модуль перемещения пули внутри бруска.

Из закона сохранения импульса следует, что

$$mv_0 = (M + m)v_6. \quad (1)$$

Используя теорему об изменении кинетической энергии, получаем:

$$\frac{(M + m)v_0^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = -Fs. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $v_0$  через величины, заданные в условии.

### 33. Обозначения:

$m$  — масса пули;

$v$  — модуль скорости пули в момент вылета из ружья;

$d$  — длина ствола ружья;

$\alpha$  — угол наклона ружья;

$l$  — дальность полёта пули (расстояние между концом ствола ружья и точкой  $A$ );

$E$  — потенциальная энергия сжатой пружины.

Из закона сохранения энергии в механике следует, что

$$mgd\sin\alpha + \frac{mv^2}{2} = E. \quad (1)$$

Дальность полёта тела, брошенного под углом к горизонту, выражается формулой

$$l = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $m$  через величины, заданные в условии.

## § 19. Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости

### 3. Обозначения:

$m$  — масса шарика;

$l$  — длина нити;

$\alpha$  — угол отклонения нити от вертикали в начальном состоянии;

$v$  — модуль скорости шарика при прохождении положения равновесия;

$h$  — высота, на которой находится шарик в начальном положении по сравнению с положением равновесия;

$T$  — модуль силы натяжения нити при прохождении шариком положения равновесия.

Из закона сохранения энергии в механике следует:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh. \quad (1)$$

Выразим  $h$  через  $l$  и  $\alpha$  формулой

$$h = l(1 - \cos\alpha). \quad (2)$$

Уравнение второго закона Ньютона при прохождении шариком положения равновесия в проекциях на направленную вертикально вверх ось  $x$ :

$$\frac{mv^2}{l} = T - mg. \quad (3)$$

Согласно условию

$$T = 2mg. \quad (4)$$

Используя систему уравнений (1—4), можно выразить  $\alpha$  через величины, заданные в условии.

**5.** Главное отличие данной ситуации от ситуации, описанной в задаче 4, состоит в том, что когда шарик укреплен на стержне, он может двигаться только по окружности (или по дуге окружности). Поэтому для того, чтобы шарик «прошёл» верхнюю точку траектории, достаточно, чтобы его скорость в верхней точке не обратилась точно в нуль (при этом она может быть сколь угодно близкой к нулю).

**6.** Обозначения:

$m$  — масса шарика;

$l$  — длина нити;

$v_B$  — модуль скорости шарика в верхней точке траектории;

$v_T$  — модуль скорости шарика в момент, когда нить горизонтальна;

$T$  — модуль силы натяжения нити в момент, когда нить горизонтальна.

Когда шарик вращается на нити с минимально возможной скоростью, сила натяжения нити при прохождении шариком верхней точки траектории равна нулю (см. задачу 4

в этом же параграфе учебника). Поэтому на шарик в этой точке действует только сила тяжести. Следовательно, уравнение второго закона Ньютона для верхней точки траектории в проекциях на направленную вертикально вниз ось  $x$  имеет вид

$$\frac{mv_B^2}{l} = mg. \quad (1)$$

Уравнение второго закона Ньютона при прохождении шариком положения, когда нить горизонтальна, в проекциях на направленную ось  $x$ , направленную к центру окружности, имеет вид

$$\frac{mv_\Gamma^2}{l} = T. \quad (2)$$

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{mv_\Gamma^2}{2} = \frac{mv_B^2}{2} + mgl. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $m$  через  $T$  и  $g$ .

О пределах, в которых изменяется сила натяжения нити, см. задачу 5.

**9. а) Обозначения:**

$r$  — радиус цилиндра;

$m$  — масса шайбы;

$v_B$  — модуль скорости шайбы в верхней точке цилиндра.

При минимально возможной скорости шайбы в верхней точке цилиндра на шайбу, находящуюся в этой точке, не действует сила нормальной реакции со стороны цилиндра, то есть действует только сила тяжести. Поэтому уравнение второго закона Ньютона для шайбы в проекции на направленную вертикально вниз ось  $x$  имеет вид

$$\frac{mv_B^2}{r} = mg. \quad (1)$$

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{mv_B^2}{2} + 2mgr = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $v_0$  через  $r$  и  $g$ .

б) Обозначения:

$r$  — радиус цилиндра;

$m$  — масса шайбы;

$h$  — высота, на которой шайба отрывается от цилиндра;

$v$  — модуль скорости шайбы в момент отрыва;

$v_{\text{н}}$  — модуль скорости шайбы в нижней точке цилиндра.

В момент отрыва шайбы от цилиндра на неё действует только сила тяжести, поэтому уравнение второго закона Ньютона в проекциях на ось  $x$ , направленную из точки отрыва шайбы к центру окружности, имеет вид

$$\frac{mv^2}{r} = mg \frac{h-r}{r}. \quad (1)$$

Дробь в правой части этого уравнения — косинус угла между вертикалью и радиусом, проведённым в точку отрыва шайбы.

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_{\text{н}}^2}{2}. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $v_{\text{н}}$  через  $r$ ,  $h$  и  $g$ .

**13. Обозначения:**

$m$  — масса шайбы;

$v$  — скорость шайбы в момент, когда она находится на

высоте  $h = \frac{R}{6}$ ;

$N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на шайбу в данный момент.

а) Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для данного момента времени:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{mgR}{6} = \frac{mgR}{2}. \quad (1)$$

в) В указанный момент уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось  $x$ , направленную из точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет вид

$$\frac{mv^2}{R} = N - mg \cos \alpha. \quad (2)$$

Здесь  $N$  — модуль силы нормальной реакции,  $\alpha$  — угол между вертикалью и радиусом, проведённым в точку нахождения шайбы.

В данный момент

$$\cos\alpha = \frac{R - h}{R} = \frac{5}{6}. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $N$  через  $m$  и  $g$ .

14. а) Обозначения:

$r$  — радиус окружности;

$h$  — высота, на которой шайба отрывается от жёлоба;

$H$  — начальная высота шайбы;

$v_1$  — модуль скорости шайбы в момент отрыва от жёлоба.

Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для момента времени, когда шайба отрывается от жёлоба:

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh = mgH. \quad (1)$$

В момент отрыва шайбы уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось  $x$ , направленную из точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет вид

$$\frac{mv_1^2}{r} = mg\cos\alpha. \quad (2)$$

В рассматриваемый момент

$$\cos\alpha = \frac{h - r}{r}. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $H$  через  $h$  и  $r$ .

б) Обозначения:

$v_2$  — модуль скорости шайбы в момент, когда она находится на высоте  $r$ ;

$N$  — модуль действующей на шайбу силы нормальной реакции в этот момент.

Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для рассматриваемого момента времени:

$$\frac{mv_2^2}{2} + mgr = mgH. \quad (4)$$

Поскольку в момент, когда шайба находится на уровне центра окружности, проекция силы тяжести на ось  $x$ , направленную из точки нахождения шайбы к центру окружности, равна нулю, уравнение второго закона Ньютона в проекции на эту ось имеет вид

$$\frac{mv_2^2}{r} = N. \quad (5)$$

Используя выражение для  $H$ , полученное при выполнении задания а), а также систему уравнений (4—5), можно выразить  $N$  через  $m$ ,  $h$ ,  $r$  и  $g$ .

Согласно третьему закону Ньютона шайба давит на жёлоб с такой же по модулю силой, что и жёлоб давит на шайбу.

**15.** Поскольку трением можно пренебречь, механическая энергия шайбы сохраняется во время всего движения шайбы.

**16. Обозначения:**

$l$  — длина нити;

$m$  — масса шарика;

$\alpha$  — угол с вертикалью в момент, когда сила натяжения нити равна по модулю действующей на шарик силе тяжести;

$v$  — модуль скорости шарика в этот момент;

$T$  — модуль силы натяжения нити в этот момент.

Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для рассматриваемого момента времени:

$$\frac{mv^2}{2} = mgl \cos \alpha. \quad (1)$$

В рассматриваемый момент уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось  $x$ , направленную из точки нахождения шарика к центру окружности, имеет вид

$$\frac{mv^2}{l} = T - mg \cos \alpha. \quad (2)$$

Согласно условию

$$T = mg. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно найти значения  $\cos \alpha$ , а потом и угол  $\alpha$ .

**17. Обозначения:** $r$  — радиус цилиндра; $m$  — масса шайбы; $v$  — модуль скорости шайбы в момент отрыва от цилиндра; $h$  — высота отрыва шайбы (считая от нижней точки цилиндра); $v_0$  — модуль начальной скорости шайбы.

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (1)$$

В момент отрыва от цилиндра на шайбу действует только сила тяжести, поэтому уравнение второго закона Ньютона для шайбы в проекции на ось  $x$ , направленную от точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет в этот момент вид

$$\frac{mv^2}{r} = mg \cos \alpha. \quad (2)$$

Здесь  $\alpha$  — угол между вертикалью и радиусом, проведённым из точки нахождения шайбы.

В рассматриваемый момент

$$\cos \alpha = \frac{h - r}{r}. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $r$  через величины, данные в условии. Надо учесть, что в задаче спрашивается о диаметре цилиндра.

**18. Обозначения:** $m$  — масса шайбы; $l$  — длина наклонной плоскости; $r$  — радиус обруча; $\alpha$  — угол наклона плоскости; $\mu$  — коэффициент трения между шайбой и плоскостью; $a$  — модуль ускорения шайбы при движении вверх вдоль наклонной плоскости; $v_0$  — модуль минимальной начальной скорости шайбы, при которой она отрывается от опоры в точке  $B$ ; $v$  — модуль скорости шайбы в точке  $B$ .

Второй закон Ньютона для шайбы в проекции на ось  $x$ , направленную вверх вдоль наклонной плоскости:

$$mgs \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = ma. \quad (1)$$

Используя формулы равноускоренного движения, получаем:

$$v_0^2 - v^2 = 2al. \quad (2)$$

В момент отрыва от опоры на шайбу действует только сила тяжести, поэтому уравнение второго закона Ньютона для шайбы в проекции на ось  $x$ , направленную от точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет в этот момент вид

$$\frac{mv^2}{r} = mg \cos \alpha. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $v_0$  через величины, данные в условии.

## § 20. Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел

**2. Обозначения:**

$m_1, m_2$  — массы осколков;

$v_1, v_2$  — модули скоростей осколков сразу после разрыва снаряда;

$l_1, l_2$  — дальность полёта осколков.

В верхней точке траектории скорость снаряда равна нулю. Поэтому из закона сохранения импульса следует, что

$$m_1 v_1 = m_2 v_2. \quad (1)$$

Скорости осколков направлены горизонтально, и у них одинаковая начальная высота. Поскольку горизонтальная проекция скорости для тела, брошенного под углом к горизонту, остаётся постоянной, отсюда следует, что

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (2)$$

Обозначим  $m_1$  массу более массивного осколка. Тогда согласно условию

$$m_1 = 3m_2. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно найти  $m_2$ .

## 3. Обозначения:

- $v_0$  — начальная скорость снаряда;  
 $\alpha$  — угол между начальной скоростью снаряда и горизонталью;  
 $v_{1x}, v_{2x}$  — проекции скоростей первого и второго осколков на ось  $x$ , направление которой совпадает с направлением скорости снаряда в момент разрыва;  
 $m$  — масса любого из осколков;  
 $l$  — расстояние по горизонтали от пушки до точки, над которой разорвался снаряд;  
 $l_1, l_2$  — расстояние по горизонтали от точки, над которой разорвался снаряд, до места падения первого и второго осколков;  
 $t$  — время полёта снаряда до разрыва.

В верхней точке траектории отлична от нуля только проекция скорости снаряда на ось  $x$ . Тогда из закона сохранения импульса следует:

$$mv_{1x} + mv_{2x} = 2mv_0 \cos\alpha. \quad (1)$$

Из того, что первый осколок упал рядом с пушкой, следует, что он летел по той же траектории, что снаряд, но в обратном направлении, поэтому

$$v_{1x} = -v_0 \cos\alpha. \quad (2)$$

Из уравнений (1—2) следует, что

$$v_{2x} = 3v_0 \cos\alpha. \quad (3)$$

Поскольку начальные скорости осколков направлены горизонтально, время их полёта после разрыва снаряда одинаково и равно времени  $t$  полёта снаряда до разрыва. Поэтому

$$\frac{l_1}{l_2} = \left| \frac{v_{1x}}{v_{2x}} \right|. \quad (4)$$

Согласно условию

$$l_1 = l. \quad (5)$$

Используя уравнения (1—5), можно выразить  $l_2$  через  $l$ . Значение  $l$  можно найти через данные в условии начальную скорость снаряда и угол бросания.

Согласно условию

$$d = l + l_2.$$

**5. Обозначения:** $l$  — длина нити; $v_{\text{в}}$  — минимально возможная скорость бруска с пулей в верхней точке окружности; $v_{\text{н}}$  — минимально возможная скорость бруска с пулей в нижней точке, при которой брусок с пулей будут двигаться по окружности; $m$  — масса пули; $M$  — масса бруска; $v_{\text{п}}$  — модуль минимальной скорости пули перед попаданием в брусок, при которой брусок с пулей будут двигаться по окружности.

При минимально возможной скорости бруска с пулей в верхней точки окружности сила натяжения нити в этой точке обращается в нуль. Отсюда получаем:

$$\frac{v_{\text{в}}^2}{l} = g. \quad (1)$$

Из закона сохранения энергии в механике следует:

$$\frac{v_{\text{в}}^2}{2} + 2gl = \frac{v_{\text{н}}^2}{2}. \quad (2)$$

Из закона сохранения импульса при столкновении пули с бруском получаем:

$$mv_{\text{п}} = (M + m)v_{\text{н}}. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $v_{\text{п}}$  через  $m$ ,  $M$ ,  $l$  и  $g$ .

**7. Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Поэтому:**

$$(M + m)V = mv_0. \quad (1)$$

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{(M + m)V^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $h$  и  $V$  через  $M$ ,  $m$  и  $v_0$ .

**8. Обозначения:** $m$  — масса шайбы; $M$  — масса горки; $H$  — высота более высокой вершины; $h$  — высота менее высокой вершины;

$V, v$  — модули скоростей горки и шайбы в момент, когда шайба находится на менее высокой вершине.

Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Отсюда следует, что скорости горки и шайбы в рассматриваемый момент времени направлены противоположно. Кроме того,

$$MV = mv. \quad (1)$$

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{MV^2}{2} + \frac{mv^2}{2} + mgh = mgH. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $V$  и  $v$  через  $M, m, H$  и  $h$ .

**9. Обозначения:** $m_1, m_2$  — массы осколков; $v_1, v_2$  — модули скоростей осколков сразу после разрыва снаряда; $l_1, l_2$  — дальность полёта осколков.

В верхней точке траектории скорость снаряда равна нулю. Поэтому из закона сохранения импульса следует, что

$$m_1v_1 = m_2v_2. \quad (1)$$

Скорости осколков направлены горизонтально, и у них одинаковая начальная высота. Поэтому

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (2)$$

Согласно условию

$$m_2 = 3m_1. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $l_2$  через величины, данные в условии.

**10. Обозначения:**

- $m_1, m_2$  — массы шаров ( $m_1 < m_2$ );  
 $l$  — одинаковая длина нитей;  
 $v_1$  — модуль скорости первого шара непосредственно перед столкновением;  
 $v$  — модуль общей скорости шаров сразу после столкновения;  
 $h$  — высота подъёма шаров после столкновения.

Из закона сохранения энергии в механике следует, что

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = m_1 g l. \quad (1)$$

Из закона сохранения импульса получаем:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v. \quad (2)$$

Из закона сохранения энергии в механике следует, что

$$(m_1 + m_2) g h = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}. \quad (3)$$

Уравнение (1) позволяет получить выражение для  $v_1$ , уравнения (1—2) — выражение для  $v$ , уравнения (1—3) — выражение для  $h$ .

**11. Обозначения:**

- $m_1$  — масса налетающего шара;  
 $m_2$  — масса подвешенного шара;  
 $v_1$  — модуль скорости первого шара перед столкновением;  
 $\alpha$  — угол между скоростью первого шара и горизонталью;  
 $v$  — модуль общей скорости шаров сразу после столкновения;  
 $h$  — высота подъёма шаров после столкновения.

В данном случае при столкновении сохраняется проекция суммарного импульса шаров на горизонтально направленную ось  $x$ , потому что внешние силы направлены вертикально. Поэтому

$$m_1 v_1 \cos \alpha = (m_1 + m_2) v. \quad (1)$$

Из закона сохранения энергии в механике следует, что

$$(m_1 + m_2) g h = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $v_1$  через величины, заданные в условии.

**12. Обозначения:**

$M$  — масса горки;

$m$  — масса шайбы;

$H$  — высота горки;

$v_0$  — модуль начальной скорости шайбы;

$V$  — модуль общей скорости горки и шайбы в результате столкновения.

Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Поэтому

$$(M + m)V = mv_0. \quad (1)$$

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{(M + m)V^2}{2} + mgH = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (2)$$

Используя систему уравнений (1—2), можно выразить  $v_0$  через величины, данные в условии.

**13. Обозначения:**

$v_0$  — начальная скорость снаряда;

$m$  — масса любого осколка;

$v$  — модули скоростей осколков сразу после разрыва;

$h_2$  — максимальная высота подъёма второго осколка;

$H$  — высота разрыва снаряда.

Поскольку снаряд разорвался в верхней точке траектории, его скорость в момент разрыва равна нулю. Поэтому согласно закону сохранения импульса скорости осколков сразу после разрыва направлены противоположно и равны по модулю. Следовательно, в момент разрыва механические энергии осколков (равной массы!) одинаковы.

Поскольку сопротивлением воздуха можно пренебречь, из закона сохранения энергии в механике следует, что механические энергии осколков будут оставаться равными и в процессе их полёта. Следовательно, кинетическая энергия второго осколка при падении на землю будет такой же, как кинетическая энергия первого осколка.

Определив, с какой скоростью упал на землю второй осколок, можно найти с помощью закона сохранения энергии в механике (или используя формулы равноускоренного движения), на какой высоте его скорость была равна нулю — это и есть максимальная высота  $h_2$  его подъёма.

Высоту разрыва снаряда  $H$  можно выразить через  $v_0$  либо с помощью закона сохранения энергии в механике, либо используя формулы равноускоренного движения.

Модуль скоростей осколков  $v$  в момент разрыва можно найти, используя закон сохранения энергии в механике. Получаем:

$$\frac{mv^2}{2} + mgH = \frac{m}{2}(2v_0)^2.$$

#### 14. Обозначения:

$M$  — масса шара;

$m$  — масса пули;

$l$  — длина нити;

$v_1$  — модуль начальной скорости пули;

$V_1$  — модуль скорости шара непосредственно перед попаданием в него пули;

$V_2$  — модуль скорости шара непосредственно после попадания в него пули;

$v_2$  — модуль скорости пули после пробивания шара;

$\alpha$  — начальный угол отклонения нити;

$\beta$  — максимальный угол отклонения нити при колебаниях пробитого пулей шара.

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{MV_1^2}{2} = Mgl(1 - \cos\alpha). \quad (1)$$

Из закона сохранения импульса при пробивании шара пулей в проекциях на ось  $x$ , направленную по скорости пули, следует, что

$$mv_2 - MV_2 = mv_1 - MV_1. \quad (2)$$

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$Mgl(1 - \cos\beta) = \frac{MV_2^2}{2}. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1—3), можно выразить  $\cos\beta$  через величины, данные в условии, и найти его значение. Определив значение  $\cos\beta$ , можно найти значение  $\beta$ .

В данной задаче требуется найти только численное значение  $\beta$ . Поэтому можно не решать задачу в общем виде, а нахо-

дить значения  $V_1$ ,  $V_2$  и  $\cos\beta$  поэтапно, используя написанные уравнения. Это значительно сокращает вычисления.

**15. Обозначения:**

$M$  — масса горки;

$m$  — масса шайбы;

$h$  — высота горки;

$v$  — модуль скорости шайбы после соскальзывания с горки;

$V$  — модуль скорости горки после соскальзывания с неё шайбы.

Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Поскольку в начальный момент суммарный импульс горки и шайбы равен нулю, получаем:

$$MV = mv. \quad (1)$$

Из закона сохранения энергии в механике получаем:

$$\frac{MV^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = mgh. \quad (2)$$

Обозначим отношение масс  $b = \frac{M}{m}$ . Тогда уравнения (1—2) можно переписать в виде

$$bV = v. \quad (3)$$

$$\frac{bV^2}{2} + \frac{v^2}{2} = gh. \quad (4)$$

Используя систему уравнений (3—4), можно выразить  $b$  и  $V$  через величины, данные в условии.

## § 21. Движение жидкостей и газов

**6. Обозначения:**

$\rho$  — плотность воды;

$v_{\text{ш}}$  — модуль скорости воды в широкой части трубы;

$v_{\text{у}}$  — модуль скорости воды в узкой части трубы;

$p_{\text{ш}}$  — давление воды в широкой части трубы;

$p_{\text{у}}$  — давление воды в узкой части трубы;

$S_{\text{ш}}$  — площадь поперечного сечения широкой части трубы;

$S_{\text{у}}$  — площадь поперечного сечения узкой части трубы;

$r_{\text{ш}}$  — радиус широкой части трубы;

$r_y$  — радиус узкой части трубы;  
 $p_a$  — нормальное атмосферное давление.

Из уравнения Бернулли следует, что

$$\frac{\rho v_{\text{ш}}^2}{2} + p_{\text{ш}} = \frac{\rho v_y^2}{2} + p_y. \quad (1)$$

Из уравнения неразрывности получаем:

$$S_{\text{ш}} v_{\text{ш}} = S_y v_y. \quad (2)$$

Согласно условию

$$p_{\text{ш}} = 2p_a, \quad (3)$$

$$p_y = 0,5p_a. \quad (4)$$

Из того, что площадь круга пропорциональна квадрату его радиуса, следует:

$$\frac{S_{\text{ш}}}{S_y} = \frac{R_{\text{ш}}^2}{R_y^2}. \quad (5)$$

Используя уравнения (2) и (5), а также заданное в условии отношение радиусов, можно выразить  $v_y$  через  $v_{\text{ш}}$ . Затем это выражение можно подставить в уравнение (1), воспользовавшись также формулами (3) и (4). В результате получится одно уравнение для одной неизвестной  $v_{\text{ш}}$ .

## Глава IV. Статика

### § 22. Условия равновесия тела

**18. Обозначения:**

$m_1, m_2$  — массы грузов, подвешенных к концам стержня ( $m_1 > m_2$ );

$m_3$  — масса груза, подвешенного к середине стержня;

$L$  — длина стержня;

$l$  — расстояние от точки подвеса груза  $l$  до точки опоры.

Согласно первому условию равновесия со стороны опоры на стержень действует направленная вверх сила, равная по модулю  $(m_1 + m_2 + m_3)g$ .

Правило моментов относительно точки подвеса груза 1 можно записать в виде

$$(m_1 + m_2 + m_3)gl = m_2gL + m_3g\frac{L}{2}.$$

Используя это уравнение, можно выразить  $l$  через величины, заданные в условии.

**19.** Когда к одному из концов стержня прикладывают силу, направленную вниз, точкой опоры становится ближайшая из двух опор: при приподнимании другого конца стержня он перестаёт давить на другую опору. Поэтому для нахождения требуемой силы надо записать правило моментов относительно этой опоры, учитывая, что прикладываемая сила и вес груза будут стремиться вращать стержень в противоположных направлениях.

**20.** Обозначения:

$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  — силы, приложенные к точке подвеса груза 3. Они выражаются через массы подвешенных грузов.

Согласно первому условию равновесия векторная сумма этих трёх сил равна нулю, поэтому векторы  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  образуют треугольник.

Отсюда следует, что угол  $\beta$  между сторонами треугольника, соответствующими силам  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , связан с искомым углом  $\alpha$  между векторами  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  соотношением

$$\alpha + \beta = \pi. \quad (1)$$

По теореме косинусов

$$F_3^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos\beta. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), а также выражения для сил через массы подвешенных грузов, можно найти значение косинуса угла  $\beta$ , сам угол  $\beta$ , а затем и значение угла  $\alpha$ .

**21.** Обозначения:

$m_{\text{г}}$  — масса груши;

$m_{\text{я}}$  — масса яблока;

$l_{\text{л}}, l_{\text{п}}$  — плечи весов, соответствующие левой и правой чашам.

Правило рычага при первом и втором взвешиваниях можно записать в виде

$$m_{\text{г}}gl_{\text{л}} = 4m_{\text{я}}gl_{\text{п}}, \quad (1)$$

$$m_{\text{г}}gl_{\text{п}} = m_{\text{я}}gl_{\text{л}}. \quad (2)$$

Перемножив уравнения (1) и (2), получим уравнение, из которого можно найти отношение масс груши и яблока.

Разделив одно из уравнений на другое, получим уравнение, с помощью которого можно найти отношение плеч весов.

## 22. Обозначения:

$m$  — масса груза;

$T$  — модуль силы натяжения нити;

$L$  — длина стержня;

$\alpha$  — угол между стержнем и стеной;

$\beta$  — угол между нитью и стеной;

$\gamma$  — угол между нитью и стержнем.

Правило моментов относительно нижнего конца стержня имеет вид

$$TL\sin\gamma = mgL\sin\alpha.$$

Поскольку  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  являются углами треугольника, их сумма равна  $180^\circ$ . Благодаря этому, используя написанное уравнение, можно выразить  $T$  через  $m$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ .

## § 23. Центр тяжести. Виды равновесия

13. Дощечка с грузом будет оставаться на столе до тех пор, пока центр тяжести системы «дощечка + груз» находится над столом. Центр тяжести этой системы можно найти, воспользовавшись тем, что центр тяжести дощечки находится в её середине, а также тем, что алгебраическая сумма моментов сил тяжести, действующих на все части системы, относительно её центра тяжести равна нулю.

## 15. Обозначения:

$x$  — расстояние от центра большого стержня до его центра тяжести;

$L$  — длина всего стержня;

$m_{\text{с}}$  — масса свинцовой части стержня;

$m_{\text{ж}}$  — масса железной части стержня;

$\rho_{\text{с}}$  — плотность свинца;

$\rho_{\text{ж}}$  — плотность железа.

Поскольку плотность свинца больше плотности железа, центр тяжести стержня лежит в части, сделанной из свинца.

Учитывая, что центр тяжести каждой половины стержня лежит в её середине, а алгебраическая сумма моментов сил тяжести, действующих на части тела, относительно центра тяжести тела равна нулю, можно записать:

$$m_c g \left( \frac{L}{2} - x \right) = m_{\text{ж}} g \left( \frac{L}{2} + x \right). \quad (1)$$

Поскольку части стержня имеют равные длины и равные площади поперечных сечений, их массы относятся как плотности металлов, из которых изготовлены эти части. Поэтому уравнение (1) после сокращений можно переписать в виде

$$\rho_c \left( \frac{L}{2} - x \right) = \rho_{\text{ж}} \left( \frac{L}{2} + x \right). \quad (2)$$

Из этого уравнения можно найти  $x$ .

### 18. Обозначения:

$R$  — радиус шара;

$l$  — длина нити;

$\alpha$  — угол между нитью и стеной;

$\vec{N}$  — сила нормальной реакции, действующая на стену со стороны шара;

$\vec{T}$  — сила натяжения нити.

По условию стена гладкая, следовательно, со стороны стенки на шар действует только сила нормальной реакции  $\vec{N}$ , направленная перпендикулярно стене. Момент этой силы относительно центра тяжести шара равен нулю. Отсюда следует, что момент силы натяжения нити относительно центра тяжести шара тоже равен нулю. Следовательно, нить и радиус, проведённый в точку крепления нити к шару, лежат на одной прямой.

Введём систему координат, направив ось  $x$  горизонтально от стены, а ось  $y$  — вертикально вверх.

В проекциях на оси координат первое условие равновесия имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: -T \sin \alpha + N = 0; \\ O_y: T \cos \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Кроме того,

$$\sin \alpha = \frac{R}{R + l}. \quad (2)$$

Используя приведённые уравнения, а также тождество  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ , можно выразить  $T$  и  $N$  через величины, заданные в условии.

### 19. Обозначения:

$l$  — длина цепи;

$m$  — масса цепи;

$v$  — скорость цепи в момент, когда она оторвалась от стола.

Согласно закону сохранения энергии в механике

$$\frac{mv^2}{2} = mgh.$$

Здесь  $h$  — расстояние, на которое опустился центр тяжести цепи за время её соскальзывания со стола.

Центр тяжести цепи в начальный момент находится на середине отрезка, соединяющего середины двух частей цепи — лежащей на столе и свисающей со стола. Расстояние от этого центра тяжести до уровня стола можно найти с помощью геометрического построения.

Центр тяжести цепи в момент, когда она оторвалась от стола, находится ниже уровня стола на  $\frac{l}{2}$ .

### 20. Обозначения:

$L$  — длина стержня;

$m_c$  — масса стержня;

$m_r$  — масса груза;

$d_1$  — расстояние от конца стержня до точки подвеса в первом опыте;

$d_2$  — расстояние от конца стержня до точки подвеса во втором опыте.

Центр тяжести стержня совпадает с точкой подвеса в первом опыте. Поэтому правило моментов для второго опыта относительно точки подвеса можно записать так:

$$m_c g(d_2 - d_1) = m_r g(L - d_2).$$

С помощью этого уравнения можно выразить массу стержня через величины, данные в условии.

**21. Обозначения:**

$l$  — длина лестницы;

$m$  — масса рабочего;

$\alpha$  — угол между лестницей и стеной;

$\mu$  — коэффициент трения между лестницей и полом;

$N_c$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на лестницу со стороны стены;

$N_{\Pi}$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на лестницу со стороны пола;

$F_{\text{тр}}$  — модуль силы трения покоя, действующей на нижний конец лестницы со стороны пола;

$h$  — высота рабочего над полом.

Направим ось  $x$  горизонтально от стены, а ось  $y$  — вертикально вверх. Поскольку массой лестницы по условию можно пренебречь, первое условие равновесия для лестницы в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: N_c - F_{\text{тр}} = 0; \\ Oy: N_{\Pi} - mg = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Правило моментов относительно нижнего конца лестницы можно записать так:

$$mghtg\alpha - N_c l \cos\alpha = 0. \quad (2)$$

Кроме того, для силы трения покоя справедливо неравенство

$$F_{\text{тр}} \leq \mu N_{\Pi}. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1), можно записать уравнение (2) и неравенство (3) в виде

$$mghtg\alpha - F_{\text{тр}} l \cos\alpha = 0, \quad (4)$$

$$F_{\text{тр}} \leq \mu mg. \quad (5)$$

Выражая  $F_{\text{тр}}$  через другие величины с помощью уравнения (4) и подставляя полученное выражение для  $F_{\text{тр}}$  в неравенство (5), находим искомое неравенство для  $h$ .

**22. Обозначения:** $m$  — масса куба; $a$  — длина ребра куба; $\vec{F}$  — сила, приложенная к ребру куба (предполагается, что она направлена перпендикулярно этому ребру).

На куб действуют сила тяжести, сила  $\vec{F}$ , сила нормальной реакции и сила трения покоя со стороны пола.

а) Если сила  $\vec{F}$  направлена горизонтально, то правило моментов относительно ребра куба, через которое начинают переворачивать куб, можно записать в виде

$$mg \frac{a}{2} - Fa = 0.$$

б) Сила  $\vec{F}$  будет наименьшей по модулю, когда плечо этой силы максимально возможное. Это будет тогда, когда сила  $\vec{F}$  направлена вверх под углом  $45^\circ$  к горизонтали. Для этого случая правило моментов относительно ребра куба, через которое начинают переворачивать куб, можно записать в виде:

$$mg \frac{a}{2} - Fa\sqrt{2} = 0.$$

## § 24. Равновесие жидкости и газа

5. Согласно условию высота воды в колене с керосином остаётся на одном и том же уровне. Следовательно, при равновесии жидкости давление жидкости на этом уровне в обоих коленах трубки одно и то же. Отсюда следует, что столб доливой воды создаёт такое же давление, как и столб керосина.

8. Действующая на шар выталкивающая сила равна весу воды в объёме, равном половине объёма шара. При заданной в условии плотности шара вес этой воды равен четверти веса всего шара.

**27. Обозначения:** $m$  — масса цилиндра; $V$  — объём цилиндра; $P_{\text{к}}$  — показания динамометра, когда цилиндр погружён в керосин; $P_{\text{в}}$  — показания динамометра, когда цилиндр погружён в воду;

$\rho_{\text{к}}$  — плотность керосина;

$\rho_{\text{в}}$  — плотность воды.

Используя закон Архимеда, условия равновесия цилиндра, погружённого в керосин и в воду, можно записать в виде

$$mg = P_{\text{к}} + \rho_{\text{к}}gV,$$

$$mg = P_{\text{в}} + \rho_{\text{в}}gV.$$

Вычитая из первого уравнения второе, получим одно уравнение, с помощью которого можно найти выражение для объёма цилиндра. Умножив это выражение на плотность меди, получим выражение для массы цилиндра.

**28. а)** Если шары имеют одинаковую массу, то на алюминиевый шар в воде действует бóльшая сила Архимеда.

**б)** Если шары имеют одинаковый объём, то они могли быть уравновешены на рычаге только при условии, что они находились на различных расстояниях от точки опоры, так как плотность железа больше плотности алюминия. В воде на шары равного объёма будут действовать одинаковые силы Архимеда. Однако момент силы Архимеда относительно точки опоры рычага будет больше для того шара, который расположен дальше от точки опоры.

**29. Обозначения:**

$\rho_{\text{в}}$  — плотность воды;

$m$  — масса шара;

$V_{\text{с}}$  — объём стали;

$V_{\text{п}}$  — объём полости в шаре.

Шар плавает, если действующая на него сила Архимеда уравновешивает силу тяжести. Наибольшей возможной массе шара соответствует случай, когда он плавает, полностью погрузившись в воду. В этом случае условие равновесия для шара имеет вид

$$\rho_{\text{в}}(V_{\text{с}} + V_{\text{п}})g = mg.$$

Выражая объём стали через массу и плотность, получаем уравнение, с помощью которого можно выразить массу шара через плотности воды и стали и объём полости.

**30. Обозначения:**

$m$  — масса доски;

$S$  — площадь горизонтальной поверхности доски;

- $d$  — толщина доски;  
 $\rho_{\text{к}}$  — плотность керосина;  
 $\rho_{\text{в}}$  — плотность воды;  
 $h$  — глубина погружения доски, когда она плавает в воде;  
 $s$  — толщина слоя керосина;  
 $b$  — глубина погружения доски в воду, когда поверх воды налит слой керосина;  
 $x$  — высота верхней поверхности доски над уровнем керосина.

Действующая на доску сила тяжести уравнивает выталкивающую силу, которая равна весу жидкости в объёме, занятом доской. Поэтому условие равновесия доски до наливания керосина можно записать в виде

$$mg = \rho_{\text{в}} h S g.$$

После наливания слоя керосина условие равновесия доски имеет вид

$$mg = (\rho_{\text{н}} s + \rho_{\text{в}} b) S g.$$

Приравняв правые части написанных уравнений, получаем:

$$\rho_{\text{в}} h = (\rho_{\text{н}} s + \rho_{\text{в}} b). \quad (1)$$

Согласно условию

$$h = 0,7 \cdot d. \quad (2)$$

Используя уравнения (1—2), можно выразить  $b$  через величины, заданные в условии, и справочные данные. Выражение для  $x$  можно получить, используя соотношение

$$x = d - b - s.$$

### 32. Обозначения:

- $m$  — масса куба;  
 $S$  — площадь грани куба;  
 $a$  — длина ребра куба;  
 $\rho$  — плотность вещества, из которого изготовлен куб;  
 $\rho_{\text{н}}$  — плотность нефти;  
 $\rho_{\text{в}}$  — плотность воды;  
 $h$  — глубина погружения куба, когда он плавает в воде;  
 $x$  — толщина слоя нефти.

Действующая на куб сила тяжести уравнивает выталкивающую силу, которая равна весу жидкости в объёме,

занятом кубом. Поэтому условие равновесия куба до наливания нефти можно записать в виде

$$mg = \rho_b h S g. \quad (1)$$

Выражая массу куба через его плотность и объём, получаем отсюда:

$$h = \frac{\rho}{\rho_b} a. \quad (2)$$

После наливания слоя нефти условие равновесия куба имеет вид:

$$mg = [\rho_n x + \rho_b (a - x)] S g. \quad (3)$$

Приравнивая правые части уравнений (1, 3), получаем

$$\rho_b h = \rho_n x + \rho_b (a - x). \quad (4)$$

Используя уравнения (2) и (4), можно выразить  $x$  через величины, заданные в условии, и справочные данные.

### 33. Обозначения:

$m_k$  — масса куба;

$\rho_k$  — плотность куба;

$M$  — масса всей цепи;

$L$  — длина всей цепи;

$m$  — масса вертикальной части цепи;

$l$  — длина вертикальной части цепи;

$\rho_b$  — плотность воды;

$\rho_c$  — плотность стали;

$F_{Ак}$  — модуль силы Архимеда, действующей на куб;

$F_{Ац}$  — модуль силы Архимеда, действующей на вертикальную часть цепи.

Куб находится в равновесии, когда выталкивающая сила, действующая на куб и вертикальную часть цепи, уравновешивает действующую на них силу тяжести. Поэтому

$$(m_k + m)g = F_{Ак} + F_{Ац}. \quad (1)$$

Используя закон Архимеда, можно записать:

$$F_{Ак} = m_k \frac{\rho_b}{\rho_k} g, \quad (2)$$

$$F_{Ац} = m \frac{\rho_b}{\rho_c} g. \quad (3)$$

Кроме того, справедливо соотношение

$$m = M \frac{l}{L}. \quad (4)$$

Используя уравнения (1—4), можно выразить  $l$  через величины, заданные в условии, и справочные данные.

## Глава V. Молекулярная физика

### § 25. Строение вещества

37. Число  $n$  слоёв атомов золота связано с толщиной фольги  $D$  и диаметром атома золота  $d$  соотношением

$$D = dn. \quad (1)$$

Диаметр  $d$  атома золота можно выразить через плотность золота и его молярную массу, если принять для оценки, что каждый атом «занимает» ячейку кубической формы с длиной ребра  $d$ , причём атомы расположены вплотную друг к другу.

Обозначим  $N$  число атомов в образце вещества массой  $m$ . Тогда для плотности вещества получаем:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_0 N}{d^3 N} = \frac{m_0}{d^3}. \quad (2)$$

Массу  $m_0$  одного атома вещества можно выразить через молярную массу  $M$  этого вещества и постоянную Авогадро. Используя это выражение, уравнения (1, 2), а также величины, заданные в условии, можно найти значение  $n$ .

### § 26. Изопроцессы

34. Обозначим  $T$  одинаковую абсолютную температуру газа в состояниях 2 и 4.

При изохорном процессе 1—2

$$\frac{T}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}. \quad (1)$$

При изохорном процессе 3—4

$$\frac{T_3}{T} = \frac{p_3}{p_4}. \quad (2)$$

Процессы 2—3 и 4—1 являются изобарными, поэтому

$$p_3 = p_2,$$

$$p_4 = p_1.$$

Следовательно, правые части уравнений (1, 2) равны. Это позволяет выразить  $T$  через  $T_1$  и  $T_3$ .

### § 27. Уравнение состояния идеального газа

37. Для оценки среднего расстояния между молекулами газа можно представить себе, что они находятся в вершинах кубической решётки: тогда расстояние между молекулами равно ребру куба  $d$ .

На каждую молекулу при этом приходится объём, равный  $d^3$ . При этом концентрация молекул

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N}{Nd^3} = \frac{1}{d^3}. \quad (1)$$

С другой стороны, из уравнения состояния идеального газа следует, что

$$p = nkT. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $d$  через величины, заданные в условии.

### 38. Обозначения:

$p_1, V_1, T_1$  — параметры газа в начальном состоянии;

$p_2, V_2, T_2$  — параметры газа в конечном состоянии;

$h_1, h_2$  — высота, на которой находится поршень в начальном и конечном состояниях;

$V$  — объём газа;

$S$  — площадь поршня;

$p_a$  — атмосферное давление.

Параметры газа в начальном и конечном состояниях связаны уравнением Клапейрона:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad (1)$$

Объём газа  $V$  связан с высотой  $h$ , на которой находится поршень, соотношением

$$V = hS. \quad (2)$$

Используя тот факт, что массой поршня можно пренебречь (в условии сказано, что поршень лёгкий), и уравнения (1—4), можно выразить  $h_2$  через величины, заданные в условии.

## § 28. Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул

**25. Обозначения:**

$\bar{v}_1$  и  $\bar{v}_2$  — среднеквадратичные скорости молекул в сосуде и в окружающем воздухе;

$n_1$  и  $n_2$  — концентрации молекул в сосуде и в окружающем воздухе.

При установившемся давлении воздуха в баллоне число молекул воздуха, вылетающих за некоторое время через малое отверстие из баллона, равно числу молекул, влетающих через это же отверстие из окружающего воздуха в баллон за то же самое время.

Отсюда, используя те же соображения, с помощью которых было выведено основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа, получаем:

$$\bar{v}_1 n_1 = \bar{v}_2 n_2. \quad (1)$$

Концентрация молекул связана с давлением газа и его абсолютной температурой соотношением

$$p = nkT. \quad (2)$$

Среднеквадратичная скорость молекул:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить  $p_1$  через величины, заданные в условии.

**26. Обозначения:**

$\bar{v}$  — среднеквадратичная скорость молекул газа;

$\Delta T$  — увеличение абсолютной температуры газа (150 К).

Из формулы для среднеквадратичной скорости молекул следует, что

$$\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}. \quad (1)$$

Согласно условию

$$T_2 - T_1 = \Delta T. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $T_1$  через величины, заданные в условии.

**27. Обозначения:**

$m_1, m_2$  — массы газов;

$E_1, E_2$  — суммарные кинетические энергии молекул газов;

$N_1, N_2$  — число молекул газов.

а) Используя формулу для среднеквадратичной скорости молекул газа и данные из условия, можно найти отношение молярных масс газов. Это позволяет найти два инертных газа с таким отношением молярных масс (такая пара инертных газов одна).

б) Средние кинетические энергии молекул при одной и той же температуре одинаковы. Поэтому отношение суммарных кинетических энергий молекул газов равно отношению числа молекул этих газов:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (1)$$

Отношение числа молекул газов можно выразить через отношение масс газов и отношение их молярных масс, используя формулу

$$N = N_A \frac{m}{M}. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2) и зная молярные массы газов, можно найти  $\frac{m_1}{m_2}$ . Используя значение заданной в условии суммы масс газов, найдем массы газов.

## § 29. Насыщенный пар. Влажность

**26.** Начальную и конечную массу водяного пара в сосуде можно найти с помощью уравнения Менделеева — Клапейрона, используя табличные значения давления насыщенного водяного пара. Учтите, что при температуре  $20^\circ$  водяной пар стал насыщенным.

**27.** Прежде всего надо выяснить, будет ли в конечном состоянии водяной пар насыщенным. Для этого можно найти с

помощью уравнения Менделеева — Клапейрона, чему равна масса насыщенного водяного пара в данном объёме при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и сравнить её с заданной в условии массой воды. В данном случае масса воды больше массы насыщенного водяного пара, поэтому пар будет насыщенным.

Конечное давление в сосуде равно сумме давления насыщенного водяного пара при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давления воздуха, которое можно найти, используя данные, приведённые в условии, а также то, что нагревание происходит при постоянном объёме. Объёмом воды, оставшейся в сосуде, можно пренебречь по сравнению с объёмом сосуда.

**28.** а) Используя данные из условия и табличные значения давления насыщенного водяного пара, находим парциальное давление водяного пара в начальном состоянии. Давление водяного пара при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и объёме, уменьшенном в 4 раза, можно найти с помощью уравнения Менделеева — Клапейрона. Сравнивая найденное значение давления водяного пара с давлением насыщенного водяного пара при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , находим, чему станет равна влажность воздуха.

б) Используя те же соображения, что и в пункте а), обнаружим, что если бы не началась конденсация пара, то давление водяного пара стало бы больше давления насыщенного водяного пара при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что невозможно. Следовательно, в данном случае конденсация пара начнётся, то есть водяной пар станет насыщенным.

**29.** а) По графику зависимости давления пара от объёма видно, что давление водяного пара перестало зависеть от объёма, когда оно стало равным  $20\text{ кПа}$ . Давление водяного пара не зависит от объёма, если пар является насыщенным. Следовательно, в данном случае давление насыщенного водяного пара равно  $20\text{ кПа}$ . Используя табличные значения давления насыщенного водяного пара, находим температуру пара.

б) Для определения массы пара в начальном состоянии можно использовать уравнение Менделеева — Клапейрона, беря значения давления и объёма пара в состояниях 1 или 2 и уже известную температуру пара в этих состояниях (она по условию одинакова).

в) При переходе из состояния 2 в состояние 3 объём водяного пара уменьшился в 3 раза. Поскольку пар при этом оставался насыщенным, масса пара уменьшилась тоже в 3 раза. Это позволяет найти массу воды в конечном состоянии.

**30.** Используя уравнение Менделеева — Клапейрона, данные из условия, а также табличные значения давления насыщенного водяного пара, можно найти массу водяного пара, содержащегося в воздухе помещения, а также массу водяного пара в забираемом снаружи таком же объёме воздуха.

## Глава VI. Термодинамика

### § 31. Первый закон термодинамики

**33.** Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_r. \quad (1)$$

По условию

$$Q = 3\Delta U. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $Q$  и  $\Delta U$  через величины, заданные в условии.

**35.** Обозначения:

$\tau$  — промежуток времени (1 с), за который воде сообщается заданное количество теплоты  $Q$  (50 кДж).

За промежуток времени  $\tau$  через поперечное сечение трубы проходит объём воды, равный

$$V = vS\tau. \quad (1)$$

Масса этой воды:

$$m = \rho V. \quad (2)$$

Количество теплоты, сообщённое за это время воде:

$$Q = cm\Delta t. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3) и выражение для площади поперечного сечения трубы через её внутренний диаметр, можно выразить  $v$  через величины, заданные в условии.

### § 32. Применение первого закона термодинамики к газовым процессам

**27.** Обозначения:

$T_1$  — начальная температура газа;

$m$  — масса газа;

$M$  — молярная масса газа.

Работа газа при изобарном процессе выражается формулой

$$A_r = p\Delta V. \quad (1)$$

Согласно уравнению Менделеева — Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M}RT. \quad (2)$$

Если давление газа не изменяется, то отсюда следует, что

$$p\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T. \quad (3)$$

Из уравнений (1, 3) следует, что в данном случае

$$A_r = \frac{m}{M}R\Delta T. \quad (4)$$

При изобарном процессе абсолютная температура пропорциональна объёму. Поэтому если объём увеличился в 4 раза, то и абсолютная температура тоже увеличилась в 4 раза. Отсюда следует, что

$$\Delta T = 3T_1. \quad (5)$$

Используя уравнения (4, 5), можно выразить  $M$  через величины, заданные в условии. Зная молярную массу газа, можно определить его возможный химический состав.

**28. Обозначение:**

$T_1$  — начальная температура газа.

Согласно условию

$$p^3V = a, \quad (1)$$

где  $a$  — некоторая постоянная величина.

Согласно уравнению Клапейрона

$$\frac{pV}{T} = b, \quad (2)$$

где  $b$  — другая постоянная величина.

Возводя уравнение (2) в куб и деля его на уравнение (1), получаем:

$$\frac{V^2}{T^3} = c, \quad (3)$$

где  $c$  — тоже постоянная величина.

Из уравнения (3) следует, что при увеличении объёма газа в 8 раз его абсолютная температура увеличивается в 4 раза.

Поскольку абсолютная температура газа увеличилась в 4 раза,

$$\Delta T = 3T_1. \quad (4)$$

Изменение внутренней энергии выражается формулой

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T. \quad (5)$$

Используя уравнения (4, 5), можно выразить  $\Delta U$  через величины, заданные в условии.

**29. Обозначения:**

$p_1, V_1, T_1$  — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние);

$p_2, V_2, T_2$  — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние);

$p_3, V_3, T_3$  — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние).

При изохорном охлаждении при переходе из состояния 1 в состояние 2 изменение внутренней энергии выражается формулой

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \Delta(pV) = \frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1). \quad (1)$$

При изобарном нагревании при переходе из состояния 2 в состояние 3 работа газа равна

$$A_{23} = p_2 (V_3 - V_2).$$

Изменение внутренней энергии при переходе из состояния 2 в состояние 3 равно

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \Delta(pV) = \frac{3}{2} p_2 (V_3 - V_2).$$

Согласно первому закону термодинамики количество теплоты, переданное газу при переходе из состояния 2 в состояние 3, равно

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = p_2 (V_3 - V_2) + \frac{3}{2} p_2 (V_3 - V_2) = \frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_2). \quad (2)$$

По условию

$$V_2 = V_1, \quad (3)$$

$$p_3 = p_2. \quad (4)$$

Кроме того, согласно условию

$$T_3 = T_1, \quad (5)$$

откуда, согласно уравнению Клапейрона, следует

$$p_3 V_3 = p_1 V_1. \quad (6)$$

С учётом уравнений (3—6) получаем из уравнений (1, 2):

$$Q_{23} = -\frac{5}{3}\Delta U_{12}.$$

### 30. Обозначения:

$p_1, V_1, T_1$  — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние);

$p_2, V_2, T_2$  — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние);

$p_3, V_3, T_3$  — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние).

Из графика следует, что процесс 2—3 — изобарный. Поэтому работа газа в этом процессе равна

$$A_{23} = p_2(V_3 - V_2). \quad (1)$$

Выражая произведение давления на объём с помощью уравнения Менделеева — Клапейрона, получаем:

$$A_{23} = \nu R(T_3 - T_2). \quad (2)$$

Согласно первому закону термодинамики

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{2}\nu R(T_3 - T_2). \quad (3)$$

Из графика следует, что

$$T_3 = T_1, \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{1}{4}T_1. \quad (5)$$

С учётом уравнений (4, 5), выражаем с помощью уравнения (3)  $Q_{23}$  через величины, заданные в условии.

**31. Обозначения:**

$p_1, V_1, T_1$  — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние);

$p_2, V_2, T_2$  — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние);

$p_3, V_3, T_3$  — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние).

Согласно условию

$$p_2 = p_1, \quad (1)$$

$$p_3 = 3p_2, \quad (2)$$

$$V_2 = 3V_1, \quad (3)$$

$$V_3 = V_2. \quad (4)$$

При изобарном нагревании 1—2

$$A_{12} = p_1(V_2 - V_1).$$

Изменение внутренней энергии при этом:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}p_1(V_2 - V_1).$$

Согласно первому закону термодинамики

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{5}{2}p_1(V_2 - V_1). \quad (5)$$

При изохорном нагревании 2—3

$$A_{23} = 0.$$

Изменение внутренней энергии при этом:

$$U_{23} = \frac{3}{2}V_2(p_3 - p_2).$$

Согласно первому закону термодинамики

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{3}{2}V_2(p_3 - p_2). \quad (6)$$

Используя соотношения (1—4), все значения давления и объёма можно выразить через  $p_1$  и  $V_1$ , благодаря чему формулы (5, 6) можно переписать в виде

$$Q_{12} = 5p_1V_1, \quad (7)$$

$$Q_{23} = 9p_1V_1. \quad (8)$$

Используя уравнения (7, 8) и уравнение Менделеева — Клапейрона, можно выразить переданное газу количество теплоты  $Q = Q_{12} + Q_{23}$  через величины, заданные в условии.

### 32. Обозначения:

$p_1, V_1, T_1$  — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние);

$p_2, V_2, T_2$  — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние);

$p_3, V_3, T_3$  — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние).

Работа внешних сил в изобарном процессе 2—3:

$$A_{\text{вн}23} = p_2(V_2 - V_3). \quad (1)$$

По условию  $p_2 = p_3$ , поэтому формулу (1) можно переписать в виде

$$A_{\text{вн}23} = p_2V_2 - p_3V_3. \quad (2)$$

Используя уравнение Менделеева — Клапейрона, уравнение (2) можно переписать в виде

$$A_{\text{вн}23} = \nu R(T_2 - T_3). \quad (3)$$

Согласно первому закону термодинамики для процесса 1—2

$$\Delta U_{12} = A_{\text{вн}12} + Q_{12}.$$

По условию этот процесс — адиабатный, поэтому

$$\Delta U_{12} = A_{\text{вн}12}. \quad (4)$$

Изменение внутренней энергии газа в этом процессе:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1). \quad (5)$$

Согласно условию

$$T_3 = T_1. \quad (6)$$

Используя уравнения (3—6), можно выразить  $A_{\text{вн } 23}$  через величины, заданные в условии.

**33. Обозначения:**

$p$  — давление насыщенного пара при температуре  $T$ ;

$V_1, V_2$  — начальный и конечный объём пара;

$m_1, m_2$  — начальная и конечная масса пара;

$m_{\text{в}}$  — масса образовавшейся воды.

Поскольку давление насыщенного пара при постоянной температуре остаётся постоянным, работа пара выражается формулой

$$A = p(V_2 - V_1). \quad (1)$$

При сжатии насыщенного пара при постоянной температуре происходит его конденсация, то есть масса пара уменьшается.

Используя уравнение Менделеева — Клапейрона и то, что температура пара не изменяется, формулу (1) можно переписать в виде

$$A = \frac{m_2 - m_1}{M} RT. \quad (2)$$

Масса образовавшейся воды:

$$m_{\text{в}} = m_1 - m_2. \quad (3)$$

Используя уравнения (2, 3), можно выразить  $A$  через величины, заданные в условии.

### § 33. Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики

**5.** Найдём сначала количество теплоты, полученное газом за один цикл.

Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_{\text{т}}. \quad (1)$$

Изменение внутренней энергии на этапе 1—2 выражается формулой

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(3p_0V_0 - p_0V_0) = 3p_0V_0. \quad (2)$$

Работа газа на этапе 1—2 равна нулю:

$$A_{12} = 0. \quad (3)$$

Используя формулы (1—3), можно выразить  $Q_{12}$  через  $p_0$  и  $V_0$ .

Изменение внутренней энергии на этапе 2—3:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(p_0 \cdot 4V_0 - 3p_0V_0) = \frac{3}{2}p_0V_0. \quad (4)$$

Работа газа на этапе 2—3 численно равна площади фигуры под графиком зависимости  $p(V)$  на этом этапе:

$$A_{23} = 6p_0V_0. \quad (5)$$

Используя формулы (1, 4, 5), можно выразить  $Q_{23}$  через  $p_0$  и  $V_0$ .

Несложно убедиться, что на этапе 3—1 газ не получает, а отдаёт некоторое количество теплоты.

Получив выражения для  $Q_{12}$  и  $Q_{23}$ , можно найти выражение для  $Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$  через  $p_0$  и  $V_0$ .

Полезная работа  $A_{\text{пол}}$  численно равна площади фигуры, заключённой внутри цикла в координатах  $(p, V)$ .

Коэффициент полезного действия цикла равен выраженному в процентах отношению  $A_{\text{пол}}$  к  $Q_1$ .

### 13. Обозначения:

$Q_1$  — количество теплоты, полученное тепловым двигателем от нагревателя;

$Q_2$  — количество теплоты, отданное тепловым двигателем охладителю.

По условию

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 0,35. \quad (1)$$

Новое значение КПД (в виде дроби) выражается формулой

$$\frac{1,15Q_1 - 1,1Q_2}{1,15Q_1} = 1 - \frac{1,1Q_2}{1,15Q_1}. \quad (2)$$

Используя формулу (1), можно найти отношение  $\frac{Q_2}{Q_1}$  и подставить найденное значение этого отношения в формулу (2).

**14. Обозначения:**

$F$  — модуль силы тяги;

$v$  — модуль скорости самолёта;

$t$  — время полёта самолёта (1 ч);

$q$  — удельная теплота сгорания керосина;

$m$  — масса керосина, сгоревшего за время  $t$ .

Развиваемую двигателем мощность можно найти по формуле

$$P = Fv. \quad (1)$$

Полезная работа двигателя равна

$$A_{\text{пол}} = Pt. \quad (2)$$

Выделившееся при сгорании керосина количество теплоты:

$$Q = qt. \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия двигателя:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Используя уравнения (1—4), можно выразить  $m$  через величины, заданные в условии.

**16. Обозначения:**

$p_1, V_1$  — начальные значения давления и объёма данной массы газа;

$p_2, V_2$  — значения давления и объёма газа после изохорного нагревания;

$p_3, V_3$  — значения давления и объёма газа после изобарного нагревания;

$p_4, V_4$  — значения давления и объёма газа после изохорного охлаждения.

График цикла удобнее всего построить в координатах ( $p, V$ ).

По условию

$$\begin{aligned} p_2 &= 3p_1, \\ V_2 &= V_1, \\ p_3 &= p_2, \\ V_3 &= 1,5V_2. \end{aligned}$$

Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_{\tau}. \quad (1)$$

Изменение внутренней энергии на этапе 1—2 выражается формулой

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \Delta(pV) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (3p_1 V_1 - p_1 V_1) = 3p_1 V_1. \quad (2)$$

Работа газа на этапе 1—2 равна нулю:

$$A_{12} = 0. \quad (3)$$

Используя формулы (1—3), можно выразить  $Q_{12}$  через  $p_1$  и  $V_1$ .

Изменение внутренней энергии на этапе 2—3:

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \Delta(pV) = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) = \frac{3}{2} (3p_1 \cdot 1,5V_1 - 3p_1 V_1) = \frac{9}{4} p_1 V_1. \quad (4)$$

Работа газа на этапе 2—3 численно равна площади фигуры под графиком зависимости  $p(V)$  на этом этапе:

$$A_{23} = 3p_1 \cdot 0,5V_1 = \frac{3}{2} p_1 V_1. \quad (5)$$

Используя формулы (1, 4, 5), можно выразить  $Q_{23}$  через  $p_1$  и  $V_1$ .

Несложно убедиться, что на этапах 3—4 и 4—1 газ не получает, а отдаёт некоторое количество теплоты.

Получив выражения для  $Q_{12}$  и  $Q_{23}$ , можно найти выражение для  $Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$  через  $p_1$  и  $V_1$ .

Полезная работа  $A_{\text{пол}}$  численно равна площади фигуры, заключённой внутри цикла в координатах  $(p, V)$ .

Коэффициент полезного действия цикла выраженному в процентах отношению  $A_{\text{пол}}$  к  $Q_1$ .

**19. Обозначения:**

$p_1, V_1$  — начальные значения давления и объёма данной массы газа;

$p_2, V_2$  — значения давления и объёма газа после изотермического расширения;

$p_3, V_3$  — значения давления и объёма газа после изохорного охлаждения;

$A_{\text{г}}$  — работа газа в изотермическом процессе  $1-2$ ;

$|\Delta T|$  — модуль изменения температуры газа в изохорном процессе  $2-3$ .

Газ получает некоторое количество теплоты только в процессе  $1-2$ .

Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_{\text{г}}. \quad (1)$$

Процесс  $1-2$  — изотермический, поэтому  $\Delta U_{12} = 0$ . Следовательно,

$$Q_{12} = A_{\text{г}}. \quad (2)$$

Это и есть количество теплоты, переданное газу во время цикла.

Чтобы найти полезную работу за цикл, заметим, что газ совершает работу только в процессе  $1-2$ , потому что процесс  $2-3$  — изохорный. Внешние силы совершают работу на этапе  $3-1$ . В этом процессе работа газа отрицательна.

Полезная работа за цикл:

$$A_{\text{пол}} = A_{\text{г}} + A_{31}. \quad (3)$$

Процесс  $3-1$  — адиабатный, поэтому

$$Q_{31} = 0.$$

Следовательно, согласно первому закону термодинамики применительно к процессу  $3-1$ , (отрицательная) работа газа в этом процессе выражается формулой

$$A_{31} = -\Delta U_{31} = -\frac{3}{2} \nu R |\Delta T|. \quad (4)$$

Используя уравнения (2—4), можно выразить КПД цикла через величины, заданные в условии.

**20. Обозначения:**

$p_1, V_1$  — давление и объём газа в состоянии 1;

$p_2, V_2$  — давление и объём газа в состоянии 2;

$p_3, V_3$  — давление и объём газа в состоянии 3.

Согласно первому закону термодинамики полученное газом количество теплоты в процессе 2—3 связано с работой газа и изменением его внутренней энергии в этом же процессе соотношением

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}. \quad (1)$$

В данном случае обе величины, стоящие в правой части равенства (1), отрицательны, следовательно,  $Q_{23} < 0$ . Это означает, что газ отдаёт количество теплоты

$$Q = |Q_{23}|. \quad (2)$$

Работа газа  $A_{23}$  численно равна площади фигуры (трапеции) под графиком процесса 2—3, взятой со знаком минус, потому что газ сжимается. Получаем:

$$A_{23} = -\frac{p_0 + 2p_0}{2} \cdot 2V_0 = -3p_0V_0, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{23} &= \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_2V_2) = \\ &= \frac{3}{2}(p_0V_0 - 2p_0 \cdot 3V_0) = -7,5p_0V_0. \end{aligned} \quad (4)$$

В процессе 1—2 газ совершает работу

$$A_{12} = 2p_0 \cdot 2V_0. \quad (5)$$

Используя уравнения (1—5), можно выразить  $Q$  через  $A_{12}$ .

### § 34. Фазовые переходы

**12. Обозначения:**

$M$  — масса метеорита;

$v_n$  — модуль начальной скорости метеорита (при вхождении в атмосферу);

$v_k$  — модуль конечной скорости метеорита (непосредственно перед падением на землю);

$c$  — удельная теплоёмкость железа;

$t_n$  — начальная температура метеорита (при вхождении в атмосферу);

$t_k$  — конечная температура метеорита (непосредственно перед падением на землю);

$t_{\text{пл}}$  — температура плавления железа;

$\lambda$  — удельная теплота плавления железа;

$m$  — масса расплавившейся части метеорита.

а) С учётом того, что при движении сквозь атмосферу 80 % кинетической энергии метеорита переходит в его внутреннюю энергию, получаем, что увеличение внутренней энергии метеорита вследствие его торможения атмосферой выражается формулой

$$\Delta U = 0,8 \cdot \left( \frac{Mv_{\text{н}}^2}{2} - \frac{Mv_{\text{к}}^2}{2} \right). \quad (1)$$

Если метеорит не начал плавиться, увеличение его внутренней энергии проявляется только в увеличении его температуры. Следовательно,

$$\Delta U = cM(t_{\text{к}} - t_{\text{н}}). \quad (2)$$

Минимальную начальную скорость метеорита, при которой он нагреется до температуры плавления, можно получить из формул (1, 2), приняв конечную скорость метеорита равной нулю, а его конечную температуру равной температуре плавления.

б) Чтобы метеорит начал плавиться, он должен сначала нагреться до температуры плавления железа. Если масса расплавившейся части метеорита равна  $m$ , можно записать:

$$\Delta U = cM(t_{\text{пл}} - t_{\text{н}}) + \lambda m. \quad (3)$$

Используя уравнение (1), в котором  $v_{\text{к}} = 0$ , и уравнение (3), можно выразить отношение  $\frac{m}{M}$  через величины, заданные в условии.

#### 14. Обозначения:

$m_{\text{в}}$  — начальная масса воды в калориметре;

$c_{\text{в}}$  — удельная теплоёмкость воды;

$c_{\text{л}}$  — удельная теплоёмкость льда;

$t_{\text{в}}$  — начальная температура воды в калориметре;

$t_{\text{л}}$  — начальная температура льда, который кладут в калориметр;

$\lambda$  — удельная теплота плавления льда.

Наименьшая масса льда  $m_1$ , при которой в конечном состоянии в калориметре будет только лёд, соответствует слу-

чаю, когда при установлении теплового равновесия в калориметре находится лёд при температуре  $0^\circ\text{C}$ . В таком случае уравнение теплового баланса имеет вид

$$m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{в}} - 0^\circ\text{C}) + \lambda m_{\text{л}} = m_1 c_{\text{л}}(0^\circ\text{C} - t_{\text{л}}).$$

Если  $m_{\text{л}} > m_1$ , в конечном состоянии в калориметре будет находиться только лёд при температуре ниже  $0^\circ\text{C}$ .

Наибольшая масса льда  $m_2$ , при которой в конечном состоянии в калориметре будет только вода, соответствует случаю, когда при установлении теплового равновесия в калориметре находится вода при температуре  $0^\circ\text{C}$ . В таком случае уравнение теплового баланса имеет вид

$$m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{в}} - 0^\circ\text{C}) = \lambda m_2 + m_2 c_{\text{л}}(0^\circ\text{C} - t_{\text{л}}).$$

Если  $m_{\text{л}} < m_2$ , в конечном состоянии в калориметре будет находиться только вода при температуре выше  $0^\circ\text{C}$ .

Если начальная масса льда  $m_{\text{л}}$  удовлетворяет двойному неравенству

$$m_2 < m_{\text{л}} < m_1,$$

в конечном состоянии в калориметре будут находиться лёд и вода при температуре  $0^\circ\text{C}$ .

### 15. Обозначения:

$m_{\text{в}}$  — начальная масса воды в калориметре;

$c_{\text{в}}$  — удельная теплоёмкость воды;

$t_{\text{в}}$  — начальная температура воды в калориметре;

$m_{\text{п}}$  — масса пара, который впускают в калориметр;

$t_{\text{п}}$  — начальная температура пара, который впускают в калориметр;

$L$  — удельная теплота парообразования воды.

Прежде всего надо выяснить: сконденсируется ли весь водяной пар, который впустили в калориметр?

Для этого надо сравнить количество теплоты, выделяющееся при конденсации данного пара, с количеством теплоты, которое надо сообщить воде в калориметре, чтобы нагреть её до  $100^\circ\text{C}$ . Сравнение показывает, что при заданных в условии значениях физических величин весь пар сконденсируется.

При установлении теплового равновесия в калориметре пар сконденсируется, а образовавшаяся из него вода остынет до конечной температуры  $t_{\text{к}}$ , отдав при этом некоторое

количество теплоты воде, уже содержащейся в калориметре. Поэтому уравнение теплового баланса в данном случае имеет вид

$$m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{к}} - t_{\text{в}}) = Lm_{\text{п}} + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(100^{\circ}\text{C} - t_{\text{к}}).$$

Используя это уравнение, можно выразить  $t_{\text{к}}$  через величины, заданные в условии, и удельную теплоту парообразования воды.

### 16. Обозначения:

$m_{\text{а}}$  — масса алюминиевого куба;

$c_{\text{а}}$  — удельная теплоёмкость алюминия;

$t_{\text{а}}$  — начальная температура алюминиевого куба;

$m_{\text{л}}$  — масса растаявшего льда;

$\lambda$  — удельная теплота плавления льда.

Наименьшая температура, до которой надо нагреть алюминиевый куб, чтобы он полностью погрузился в лёд, соответствует случаю, когда объём растаявшего льда равен объёму алюминиевого куба:

$$V_{\text{а}} = V_{\text{л}}. \quad (1)$$

В таком случае уравнение теплового баланса принимает вид

$$m_{\text{а}}c_{\text{а}}(t_{\text{а}} - 0^{\circ}\text{C}) = \lambda m_{\text{л}}. \quad (2)$$

Выражая массы алюминия и растаявшего льда в уравнении (2) через их объёмы и плотности с учётом уравнения (1), получаем уравнение, с помощью которого можно найти начальную температуру алюминиевого куба.

### 17. Обозначения:

$m_{\text{п}}$  — масса пара, который впустили в калориметр;

$m_{\text{л}}$  — начальная масса льда;

$c_{\text{в}}$  — удельная теплоёмкость воды;

$\lambda$  — удельная теплота плавления льда;

$L$  — удельная теплота парообразования воды.

Уравнение теплового баланса имеет в данном случае вид

$$Lm_{\text{п}} + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(100^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) = \lambda m_{\text{л}}. \quad (1)$$

Масса воды в калориметре:

$$m_{\text{в}} = m_{\text{л}} + m_{\text{п}}. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $m_v$  через величины, заданные в условии, и справочные данные.

### 19. Обозначения:

$m$  — масса воды;

$c_v$  — удельная теплоёмкость воды;

$L$  — удельная теплота парообразования воды;

$t_n$  — начальная температура воды;

$t_{100}$  — температура кипения воды (100 °С);

$\tau_1$  — время нагревания воды от начальной температуры до температуры кипения;

$\tau_2$  — время, в течение которого вся вода после закипания выкипает;

$P$  — мощность нагревателя.

Для нагревания воды справедливо уравнение

$$c_v m(t_{100} - t_n) = P\tau_1. \quad (1)$$

Для выкипания воды справедливо уравнение

$$Lm = P\tau_2. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $\tau_2$  через величины, заданные в условии.

**21.** В данном случае при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что в зависимости от начальных значений массы и температуры воды и льда возможны три вида конечного состояния содержимого калориметра:

1) только вода (в жидком состоянии);

2) лёд и вода;

3) только лёд.

Выбираем тот вид конечного состояния, который представляется наиболее вероятным, и составляем уравнение теплового баланса, учитывая следующее.

1) Если мы предположили, что в конечном состоянии есть только вода, то при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что весь лёд нагрелся до 0 °С, затем растаял, и образовавшаяся из него вода нагрелась до конечной температуры (или её температура осталась равной 0 °С), а имевшаяся первоначально в калориметре вода охладилась до конечной температуры. Таким образом, неизвестной величиной в уравнении теплового баланса является конечная температура. Условием правильности предположения о том, что в конечном состоянии есть только вода, является то, что полученная при

решении уравнения теплового баланса конечная температура окажется не ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2) Если мы предположили, что в конечном состоянии есть лёд и вода, то при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что конечная температура может быть только равной  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . А неизвестной величиной в уравнении теплового баланса является в таком случае либо масса растаявшего льда, либо масса воды, превратившейся в лёд. Условием правильности предположения о том, что растаяла некоторая масса льда, является то, что эта величина не может превышать начальную массу льда. А условием правильности предположения, что некоторая масса воды превратилась в лёд, является то, что эта величина не может превышать начальную массу воды.

3) Если мы предположили, что в конечном состоянии есть только лёд, то при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что вся вода охладилась до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , затем превратилась в лёд и образовавшийся из воды лёд охладился до конечной температуры (или его температура осталась равной  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а имевшийся первоначально в калориметре лёд нагрелся до конечной температуры. Таким образом, неизвестной величиной в уравнении теплового баланса является конечная температура. Условием правильности предположения о том, что в конечном состоянии есть только лёд, является то, что полученная при решении уравнения теплового баланса конечная температура оказалась не выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

23. При составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что температура мокрого снега равна  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Содержащийся в мокром снеге лёд (40 % по массе) должен растаять, а образовавшаяся из него вода вместе с водой, первоначально содержащейся в мокром снеге (60 % по массе) должна нагреться до конечной температуры. Первоначально налитая в калориметр вода должна остыть до той же конечной температуры.

## Глава VII. Электростатика

### § 35. Электрические взаимодействия

39. Поскольку по условию силы натяжения нитей одинаковы, действующую на верхний шарик силу тяжести уравновешивает сила отталкивания, действующая на верхний

шарик со стороны нижнего. Это позволяет найти модули зарядов шариков.

Действующая на нижний шарик сила натяжения нити уравнивает силу тяжести и силу отталкивания, действующую на нижний шарик со стороны верхнего. Это позволяет найти силу натяжения нитей.

## § 36. Напряжённость электрического поля.

### Линии напряжённости

**35. Обозначения:**

$\vec{E}_A$  — напряжённость поля, создаваемого в точке  $C$  зарядом  $q_A$ ;

$\vec{E}_B$  — напряжённость поля, создаваемого в точке  $C$  зарядом  $q_B$ ;

$\vec{E}$  — напряжённость поля, создаваемого в точке  $C$  обоими зарядами.

Согласно принципу суперпозиции

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B.$$

Зная вектор  $\vec{E}$  и направление вектора  $\vec{E}_A$ , можно найти графически направление и модуль вектора  $\vec{E}_B$ . Это позволяет определить знак заряда  $q_B$  и отношение модулей зарядов.

**36. Обозначения:**

$F_э$  — модуль сил электрического взаимодействия между шариками;

$F_T$  — модуль силы тяжести, действующей на любой шарик;

$\alpha$  — угол отклонения нитей от вертикали;

$b$  — расстояние между шариками, когда они находятся в положении равновесия.

а) На каждый шарик действует сила тяжести и сила электрического отталкивания со стороны другого шарика. Силы электрического отталкивания согласно третьему закону Ньютона равны по модулю, поэтому нити, на которых подвешены шарики, отклонятся на одинаковые углы от вертикали.

б) Из условия равновесия любого шарика следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_э}{F_T} = \frac{kq_1q_2}{b^2mg}. \quad (1)$$

Модуль напряжённости поля в точке, находящейся в середине отрезка, соединяющего шарики, можно найти с помощью закона Кулона и принципа суперпозиции полей:

$$E = k \frac{|q_1 - q_2|}{\left(\frac{b}{2}\right)^2}. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $E$  через величины, заданные в условии.

**37.** Поскольку пластина заряжена отрицательно, напряжённость созданного ею поля направлена к пластине. Следовательно, со стороны этого поля на положительно заряженный шарик действует сила, направленная вниз.

Модуль ускорения  $a$  шарика можно найти с помощью второго закона Ньютона.

Модуль скорости шарика  $v$  непосредственно перед ударом можно найти с помощью формулы

$$v^2 = 2ah.$$

При абсолютно упругом ударе скорость шарика изменяется только по направлению, поэтому модуль изменения его импульса (равный модулю импульса, переданного пластине) можно найти по формуле

$$\Delta p = 2mv.$$

### § 37. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

**18.** Обозначения:

- $q_1, q_2$  — заряды шариков;
- $k_{\text{ж}}$  — жёсткость пружины;
- $l_1$  — длина пружины в воздухе;
- $l_2$  — длина пружины в керосине;
- $l_0$  — длина недеформированной пружины;
- $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость керосина.

На каждый шарик действуют сила упругости со стороны пружины и сила электрического отталкивания со стороны другого шарика. Когда шарики находятся в равновесии, эти

силы уравнивают друг друга, поэтому, когда шарики находятся в воздухе, справедливо уравнение

$$k \frac{q_1 q_2}{l_1^2} = k_{\text{ж}}(l_1 - l_0). \quad (1)$$

А для случая, когда шарики погружены в керосин, справедливо уравнение

$$k \frac{q_1 q_2}{\epsilon l_2^2} = k_{\text{ж}}(l_2 - l_0). \quad (2)$$

Деля одно из написанных уравнений на другое, получим одно уравнение, с помощью которого можно выразить длину недеформированной пружины  $l_0$  через справочные данные и величины, заданные в условии.

**19.** При решении этой задачи надо учесть следующие обстоятельства:

1) заряд заряженного проводящего шара равномерно распределён по его поверхности, поэтому такой шар можно заменить равномерно заряженной сферой;

2) напряжённость электрического поля, создаваемого равномерно заряженной сферой, совпадает вне сферы с напряжённостью электрического поля, создаваемого точечным зарядом, равным заряду сферы и находящимся в центре этой сферы;

3) в сплошном диэлектрике напряжённость поля уменьшается по модулю (по сравнению с вакуумом) в  $\epsilon$  раз, где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

### **§ 38. Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение)**

**31.** На заряженный шарик действуют сила тяжести и сила со стороны электрического поля. По условию угол между скоростью шарика и вертикалью не изменяется. Следовательно, шарик движется прямолинейно, а это значит, что ускорение шарика направлено вдоль той же прямой, что его скорость. Отсюда следует, что равнодействующая приложенных к шарiku сил направлена под углом  $45^\circ$  к вертикали. Это позволяет связать модуль силы, действующей на шарик со стороны электрического поля, с силой тяжести.

**32. Обозначения:** $m$  — масса шарика; $q$  — заряд шарика; $l$  — длина нити, на которой подвешен шарик; $v$  — модуль скорости шарика в нижней точке траектории; $E$  — модуль напряжённости электрического поля; $T$  — модуль силы натяжения нити.

В нижней точке траектории на шарик действуют направленные вниз сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила со стороны электрического поля  $q\vec{E}$ , а также направленная вверх сила натяжения нити  $\vec{T}$ . Под действием этих сил шарик движется с ускорением, направленным в нижней точке траектории к центру окружности, то есть вверх.

Следовательно, второй закон Ньютона в проекции на направленную вверх ось  $x$  имеет вид

$$T - mg - qE = \frac{mv^2}{l}. \quad (1)$$

Скорость шарика в нижней точке можно найти, используя закон сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = (mg + qE)l. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $T$  через величины, заданные в условии.

**§ 39. Электроёмкость.****Энергия электрического поля**

**31.** Зная силу, действующую на заданный заряд, можно найти напряжённость поля в конденсаторе. Зная напряжённость поля и расстояние между пластинами, можно найти напряжение на конденсаторе. Зная напряжение и электроёмкость, можно найти энергию электрического поля в конденсаторе.

**32. Обозначения:** $v_0$  — модуль начальной скорости электрона; $v$  — модуль конечной скорости электрона (когда вектор скорости электрона повернулся на  $60^\circ$  по сравнению с начальной скоростью).

Направим ось  $x$  вдоль начальной скорости электрона, а ось  $y$  — в направлении силы, действующей на электрон со стороны электрического поля.

При движении в электрическом поле проекция скорости электрона на ось  $x$  не изменяется, так как напряжённость поля направлена перпендикулярно оси  $x$ . Отсюда следует, что

$$v = \frac{v_0}{\cos 60^\circ}.$$

Это соотношение позволяет связать кинетическую энергию электрона в конечном состоянии с кинетической энергией электрона в начальном состоянии.

### 33. Обозначения:

$v_y$  — проекция скорости электрона на вертикальную ось  $y$  в момент вылета из конденсатора;

$v_0$  — начальная скорость электрона;

$a$  — модуль ускорения электрона при движении в конденсаторе;

$t$  — время движения электрона в конденсаторе;

$E$  — модуль напряжённости электрического поля в конденсаторе;

$d$  — расстояние между пластинами конденсатора;

$L$  — длина пластин конденсатора.

Тангенс угла поворота скорости выражается формулой

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_0}.$$

При этом

$$v_y = at,$$

$$a = \frac{eE}{m},$$

$$E = \frac{U}{d},$$

$$t = \frac{L}{v_0}.$$

Используя приведённые формулы, можно выразить  $U$  через величины, заданные в условии.

## Глава VIII. Постоянный электрический ток

### § 40. Закон Ома для участка цепи

51. а) Цепь представляет собой параллельное соединение двух проводников сопротивлением  $\frac{R}{2}$  каждый.

б) Цепь представляет собой параллельное соединение двух проводников сопротивлениями  $\frac{R}{4}$  и  $\frac{3R}{4}$ .

в) Цепь представляет собой параллельное соединение двух проводников сопротивлениями  $\frac{R}{6}$  и  $\frac{5R}{6}$ .

#### 55. Обозначения:

$E$  — модуль напряжённости электрического поля в проводе;

$U$  — напряжение на концах провода;

$l$  — длина провода;

$R$  — сопротивление провода;

$\rho$  — удельное сопротивление материала, из которого изготовлен провод;

$S$  — площадь поперечного сечения провода;

$I$  — сила тока в проводе.

Согласно закону Ома

$$U = IR. \quad (1)$$

Электрическое поле в прямолинейном проводнике можно считать однородным, откуда следует, что

$$U = El. \quad (2)$$

Сопротивление проводника  $R$  можно выразить через  $\rho$ ,  $l$  и  $S$ . Используя это выражение, а также уравнения (1, 2), можно выразить  $E$  через величины, заданные в условии.

#### 56. Обозначения:

$R_1, R_2$  — сопротивления резисторов 1 и 2;

$I_1, I_2$  — силы токов в резисторах 1 и 2 до подключения резистора 3;

$U_1, U_2$  — напряжения на резисторах 1 и 2 до подключения резистора 3.

Согласно условию после подключения резистора 3 параллельно резистору 1 напряжение на первом резисторе стало равным  $\frac{U_1}{3}$ .

Сила тока в резисторе 2 согласно условию увеличилась при этом в 3 раза. Отсюда получаем, используя закон Ома для участка цепи, что напряжение на резисторе 2 стало равным  $3U_2$ .

Поскольку напряжение на всём участке цепи осталось прежним, справедливо уравнение

$$\frac{U_1}{3} + 3U_2 = U_1 + U_2.$$

Используя это уравнение, можно найти отношение  $\frac{U_1}{U_2}$ . Оно равно искомому отношению сопротивлений резисторов, так как при последовательном соединении напряжения на резисторах пропорциональны их сопротивлениям.

**57. Обозначения:**

$U$  — показания вольтметра;

$I$  — показания амперметра;

$R_V$  — сопротивление вольтметра;

$R$  — сопротивление резистора.

Обозначим  $R_1$  сопротивление участка цепи, состоящего из параллельно соединённых резистора и вольтметра. Тогда

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}. \quad (1)$$

Напряжение на этом участке равно показаниям вольтметра  $U$ , а сила тока в этом участке равна показаниям амперметра  $I$ . Следовательно, согласно закону Ома для участка цепи

$$R_1 = \frac{U}{I}. \quad (2)$$

Используя уравнения (1, 2), можно выразить  $R$  через величины, заданные в условии.

## § 41. Работа и мощность тока

**34. Обозначения:**

$I_a$  — сила тока в резисторах 1 и 2;

$I_b$  — сила тока в резисторах 3 и 4.

Количества теплоты, выделяющиеся в резисторах 2 и 3 за время  $t$ , выражаются формулами

$$Q_2 = I_a^2 R_2 t,$$

$$Q_3 = I_b^2 R_3 t.$$

Из этих формул следует, что для нахождения отношения  $\frac{Q_2}{Q_3}$  надо найти отношение сил токов  $\frac{I_a}{I_b}$ .

Это отношение можно найти из уравнения

$$I_a(R_1 + R_2) = I_b(R_3 + R_4).$$

Это уравнение следует из закона Ома для участка цепи с учётом того, что участок цепи, содержащий резисторы 1 и 2, подключён параллельно участку, содержащему резисторы 3 и 4.

**36.** Суммарная мощность, выделяемая в резисторах при их последовательном подключении, выражается формулой

$$P_{\text{послед}} = \frac{U^2}{R_1 + R_2}. \quad (1)$$

Суммарная мощность, выделяемая в резисторах при их параллельном подключении, выражается формулой

$$P_{\text{паралл}} = \frac{U^2(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}. \quad (2)$$

С помощью уравнения (1) можно найти значение суммы сопротивлений резисторов  $R_1 + R_2$ , используя значения величин, заданных в условии, а затем с помощью уравнения (2) найти значение произведения  $R_1 R_2$ . В результате получится система уравнений для нахождения  $R_1$  и  $R_2$ .

**38.** Обозначения:

$Q$  — количество теплоты, которое необходимо сообщить заданной массе воды для нагревания её до кипения;

$R_1, R_2$  — сопротивления нагревательных элементов;

$U$  — напряжение в цепи;

$t_1, t_2$  — промежутки времени, необходимые для нагревания воды до кипения при включении только первого или только второго элемента.

Промежутки времени  $t_1$  и  $t_2$  выражаются формулами

$$t_1 = \frac{Q}{P_1} = \frac{QR_1}{U^2}, \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{Q}{P_2} = \frac{QR_2}{U^2}. \quad (2)$$

Промежуток времени, необходимый для нагревания воды до кипения при последовательном соединении элементов, равен

$$t_{\text{посл}} = \frac{Q(R_1 + R_2)}{U^2}. \quad (3)$$

Промежуток времени, необходимый для нагревания воды до кипения при параллельном соединении элементов, равен

$$t_{\text{пар}} = \frac{QR_1R_2}{U^2(R_1 + R_2)}. \quad (4)$$

Используя уравнения (1—4), можно выразить  $t_{\text{посл}}$  и  $t_{\text{пар}}$  через величины, заданные в условии. Для нахождения  $t_{\text{пар}}$  удобно предварительно «перевернуть» обе части уравнений (1, 2, 4).

## § 42. Закон Ома для полной цепи

**29. Обозначения:**

$P_1, P_2$  — мощность тока в резисторах при их поочерёдном подключении;

$R_1, R_2$  — сопротивления резисторов;

$I_1, I_2$  — сила тока в каждом из резисторов при их поочерёдном подключении;

$r$  — внутреннее сопротивление источника тока;

$\mathcal{E}$  — ЭДС источника тока.

Мощность тока в резисторах выражается формулами

$$P_1 = I_1^2 R_1, \quad (1)$$

$$P_2 = I_2^2 R_2. \quad (2)$$

Используя закон Ома для полной цепи и соотношение

$$P_1 = P_2,$$

получаем одно уравнение для нахождения  $r$ .

Подставляя найденное значение в любое из уравнений (1, 2), получаем с учётом закона Ома для полной цепи уравнение для нахождения  $\mathcal{E}$ . Зная значения  $\mathcal{E}$  и  $r$ , находим значение силы тока короткого замыкания.

**30. Обозначения:**

$P_1, P_2$  — мощность тока при силе тока  $I_1$  и  $I_2$ ;

$R_1, R_2$  — сопротивления внешней цепи при силе тока  $I_1$  и  $I_2$ ;

$r$  — внутреннее сопротивление источника тока;

$\mathcal{E}$  — ЭДС источника тока.

Мощность тока в резисторах выражается формулами

$$P_1 = I_1^2 R_1,$$

$$P_2 = I_2^2 R_2.$$

Используя эти уравнения, находим значения  $R_1$  и  $R_2$ .

Записав затем уравнения закона Ома для полной цепи, соответствующие внешним сопротивлениям  $R_1$  и  $R_2$ , получаем систему двух уравнений для нахождения  $\mathcal{E}$  и  $r$ . Зная значения  $\mathcal{E}$  и  $r$ , находим значение силы тока короткого замыкания.

**31. Обозначения:**

$r$  — внутреннее сопротивление источника тока.

КПД источника при внешнем сопротивлении  $R_1$  равен

$$\eta_1 = \frac{R_1}{R_1 + r} \cdot 100 \%. \quad (1)$$

Когда внешнее сопротивление увеличивают в 6 раз, КПД источника становится равным

$$\eta_2 = \frac{6R_1}{6R_1 + r} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Используя формулу (1), можно найти отношение  $\frac{r}{R_1}$ . Зная это отношение, можно найти  $\eta_2$ , используя формулу (2).

### § 43. Дополнительные примеры расчёта электрических цепей

14. Часть цепи, содержащую пять резисторов, можно представить как параллельное соединение трёх резисторов, два из которых — сопротивлением 12 Ом, а третий — сопротивлением 6 Ом.

17. Резисторы 1 и 3 соединены параллельно.

18. Удалим сначала мысленно резистор 5, разомкнув точки *A* и *B*. После этого найдём общее сопротивление внешней цепи и, используя закон Ома для полной цепи, найдём силу тока во всей цепи. Затем найдём силу тока в резисторах 1 и 3, что позволит найти напряжения на этих резисторах. Мы обнаружим, что эти напряжения равны, — а отсюда следует, что разность потенциалов между точками *A* и *B* равна нулю. Следовательно, если между этими точками включить резистор, ток через него идти не будет. Это означает, что добавление резистора 5 не изменит уже найденного значения силы тока в резисторе 1.

21. Конденсатор  $C_2$  подключён параллельно соединённым последовательно резисторам 2 и 3, поэтому напряжение на нём равно напряжению на участке цепи, содержащим резисторы 2 и 3.

22. Зная ЭДС источника и сопротивления всех резисторов, можно, используя закон Ома для всей цепи, написать уравнение, связывающее внутреннее сопротивление источника с силой тока во всей цепи.

Используя соотношения для сил токов в параллельно соединённых проводниках, можно написать уравнение, связывающее силу тока во всей цепи с силой тока в резисторе 2 (равной показаниям амперметра).

В результате получится система двух уравнений с двумя неизвестными — внутренним сопротивлением источника и силой тока во всей цепи.

23. Обозначения:

$U$  — напряжение на конденсаторе;

$\mathcal{E}$  — ЭДС источника;

$I$  — сила тока в цепи;

$r$  — внутреннее сопротивление источника.

Напряжение на конденсаторе можно выразить через величины, данные в условии. Оно равно в данном случае напряжению на полюсах источника:

$$U = \mathcal{E} - Ir.$$

Зная сопротивление всех резисторов и внутреннее сопротивление источника, можно, используя закон Ома для всей цепи, написать уравнение, связывающее силу тока в цепи с ЭДС источника.

В результате получится система двух уравнений с двумя неизвестными — ЭДС источника и силой тока во всей цепи.

24. До замыкания ключа алгебраическая сумма зарядов обкладок конденсаторов, соединённых с точкой  $A$ , равна нулю, поскольку система этих обкладок при разъединённом ключе является электроизолированной. Следовательно, до замыкания ключа заряды конденсаторов равны (по определению зарядом конденсатора называют модуль заряда любой из его обкладок).

Обозначим заряды конденсаторов после замыкания ключа  $Q_1$  и  $Q_2$ . Тогда заряды обкладок, соединённых с точкой  $A$ , равны соответственно  $-Q_1$  и  $Q_2$ . Алгебраическая сумма зарядов этих обкладок равна  $Q_2 - Q_1$ . Следовательно, через ключ при замыкании пройдёт заряд, модуль которого выражается формулой

$$|Q| = |Q_2 - Q_1|. \quad (1)$$

Чтобы найти выражения для зарядов конденсаторов после замыкания ключа, воспользуемся тем, что после замыкания ключа напряжения на конденсаторах станут равными напряжениям  $U_1$  и  $U_2$  на параллельно соединённых с ними резисторах:

$$Q_1 = U_1 C_1, \quad (2)$$

$$Q_2 = U_2 C_2. \quad (3)$$

Кроме того, для последовательно соединённых резисторов справедливы соотношения

$$U_1 + U_2 = U, \quad (4)$$

$$U_1 = IR_1, \quad (5)$$

$$U_2 = IR_2. \quad (6)$$

Здесь  $I$  — сила тока в резисторах.

Используя уравнения (1—6), можно выразить  $|Q|$  через величины, заданные в условии.

### § 45. Электрический ток в полупроводниках

11. Записав выражения для мощности тока при различных подключениях источника тока, получим два уравнения, с помощью которых можно выразить сопротивления первого и третьего резисторов через величины, заданные в условии.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ПРИМЕРНАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА. ФИЗИКА. 10—11 КЛАСС (базовый и углублённый уровни)	
Пояснительная записка .....	4
Характеристика учебного предмета и его место в учебном плане.....	5
Характеристика учебного предмета .....	5
Место учебного предмета в учебном плане .....	6
Планируемые личностные и метапредметные результаты освоения учебного предмета «Физика» .....	7
Планируемые личностные результаты .....	7
Планируемые метапредметные результаты .....	9
Содержание учебного предмета, планируемые предметные результаты освоения учебного предмета «Физика» и тематическое планирование (базовый уровень).....	11
Содержание учебного предмета .....	11
Планируемые предметные результаты изучения .....	14
Тематическое планирование. 10 класс .....	16
Тематическое планирование. 11 класс .....	30
Содержание учебного предмета, планируемые предметные результаты освоения учебного предмета «Физика» и тематическое планирование (углублённый уровень)..	42
Содержание учебного предмета .....	42
Планируемые предметные результаты изучения .....	46
Тематическое планирование. 10 класс .....	48
Тематическое планирование. 11 класс .....	64
ПРИМЕРНОЕ ПОУРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ УРОКОВ	
Примерное поурочное планирование .....	76
Физика и естественнонаучный метод познания природы .....	76
Механика .....	76
Молекулярная физика. Тепловые явления .....	83
Электростатика. Постоянный ток .....	86
Примерное содержание уроков (базовый уровень).....	90
Физика и естественнонаучный метод познания природы .....	90
Глава I. Кинематика .....	90
Глава II. Динамика .....	98
Глава III. Законы сохранения в механике .....	104

Глава IV. Статика и гидростатика .....	109
Глава V. Молекулярная физика .....	111
Глава VI. Термодинамика .....	116
Глава VII. Электростатика .....	120
Глава VIII. Постоянный электрический ток .....	124
<b>Примерное содержание уроков (углублённый уровень)....</b>	<b>130</b>
<b>Физика и естественнонаучный метод</b>	
познания природы .....	130
Глава I. Кинематика .....	131
Глава II. Динамика .....	143
Глава III. Законы сохранения в механике .....	158
Глава IV. Статика и гидростатика .....	170
Глава V. Молекулярная физика .....	173
Глава VI. Термодинамика .....	183
Глава VII. Электростатика .....	190
Глава VIII. Постоянный электрический ток .....	198
<b>ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ</b>	
<b>МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ СИТУАЦИЙ</b>	
Традиционная методика обучения решению задач	
и причины её неэффективности .....	208
Метод исследования ключевых ситуаций .....	212
Возможные формы организации	
учебно-исследовательской деятельности	
при использовании метода исследования	
ключевых ситуаций .....	216
<b>ТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....</b>	<b>220</b>
Глава I. Кинематика .....	220
Глава II. Динамика .....	222
Глава III. Законы сохранения в механике .....	224
Глава IV. Статика .....	226
Глава V. Молекулярная физика .....	227
Глава VI. Термодинамика .....	228
Глава VII. Электростатика .....	229
Глава VIII. Постоянный электрический ток .....	231
<b>УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ</b>	
<b>ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ</b>	
Глава I. Кинематика .....	233
§ 1. Система отсчёта, траектория,	
путь и перемещение .....	233
§ 2. Прямолинейное равномерное движение.	
Сложение скоростей .....	235

§ 3. Прямолинейное равноускоренное движение....	240
§ 4. Движение с ускорением свободного падения ...	242
§ 5. Равномерное движение по окружности.....	246
Глава II. Динамика.....	247
§ 6. Три закона Ньютона.....	247
§ 7. Силы тяготения.....	249
§ 8. Силы упругости.....	251
§ 9. Силы трения.....	256
§10. Тело на наклонной плоскости.....	260
§11. Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил.....	269
§12. Движение системы тел.....	275
Глава III. Законы сохранения в механике.....	286
§13. Импульс. Закон сохранения импульса.....	286
§14. Условия применения закона сохранения импульса.....	288
§15. Реактивное движение. Освоение космоса.....	290
§16. Механическая работа. Мощность.....	291
§17. Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия.....	297
§18. Закон сохранения энергии в механике.....	300
§19. Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости.....	304
§20. Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел.....	311
§21. Движение жидкостей и газов.....	318
Глава IV. Статика.....	319
§22. Условия равновесия тела.....	319
§23. Центр тяжести. Виды равновесия.....	321
§24. Равновесие жидкости и газа.....	325
Глава V. Молекулярная физика.....	329
§25. Строение вещества.....	329
§26. Изопроцессы.....	329
§27. Уравнение состояния идеального газа.....	330
§28. Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул.....	331
§29. Насыщенный пар. Влажность.....	332
Глава VI. Термодинамика.....	334
§31. Первый закон термодинамики.....	334
§32. Применение первого закона термодинамики к газовым процессам.....	334

§33. Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики.....	340
§34. Фазовые переходы .....	345
Глава VII. Электростатика.....	350
§35. Электрические взаимодействия .....	350
§36. Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости .....	351
§37. Проводники и диэлектрики в электрическом поле .....	352
§38. Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение) .....	353
§39. Электроёмкость. Энергия электрического поля.....	354
Глава VIII. Постоянный электрический ток.....	356
§40. Закон Ома для участка цепи .....	356
§41. Работа и мощность тока.....	357
§42. Закон Ома для полной цепи .....	359
§43. Дополнительные примеры расчёта электрических цепей.....	361
§45. Электрический ток в полупроводниках .....	363

*Учебно-методическое издание*

**Генденштейн Лев Элевич,  
Булатова Альбина Александровна,  
Кошкина Анжелика Васильевна,  
Корнильев Игорь Николаевич**

## **ФИЗИКА**

**10 класс**

**Базовый и углубленный уровни  
Методическое пособие**

**с указаниями к решению задач повышенной трудности**

*Редактор Г. Ершова  
Оформление Н. Новак  
Технический редактор Е. Денюкова  
Корректор И. Копылова  
Компьютерная вёрстка А. Борисенко*

Подписано в печать 29.01.18. Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 23,0.  
Тираж 1000 экз. Заказ №

ООО «БИНОМ. Лаборатория знаний»  
127473, Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 1,  
тел. (495)181-53-44, e-mail: binom@lbz.ru,  
<http://lbz.ru>, <http://metodist.lbz.ru>