

Ю. А. Сауров

ФИЗИКА

10

класс

БАЗОВЫЙ И УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВНИ

Классический курс. Поурочные разработки
к учебнику Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева,
Н. Н. Сотского

5-е издание, стереотипное

Москва
«Просвещение»
2022

УДК 373.5.016:53
ББК 74.262.22
С21

Издание выходит в pdf-формате.

Система моделей уроков представляет единство содержания физического материала и приёмов организации учебного процесса обучения. В книге приводится широкий набор методических средств: экспериментальные задачи, опорные конспекты, новые варианты изложения теории, различные опыты и демонстрации, а также богатый иллюстративный материал. Пособие поможет учителю в организации учебного процесса на уроках физики в 10 классе при преподавании по классическому курсу физики авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, Н. Н. Сотского под редакцией Н. А. Парфентьевой.

У ч е б н о е и з д а н и е

Сауров Юрий Аркадьевич

Физика

10 класс

БАЗОВЫЙ И УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВНИ

Классический курс. Поурочные разработки к учебнику
Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, Н. Н. Сотского

Центр физики и астрономии
Ответственный за выпуск *И. Г. Власова*

Дата подписания к использованию 15.02.2022.

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».
Российская Федерация, 127473, г. Москва,
ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, этаж 4, помещение I.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — vopros@prosv.ru.

ISBN 978-5-09-103020-4

© АО «Издательство «Просвещение», 2017
© Художественное оформление.
АО «Издательство «Просвещение», 2017
Все права защищены

*Моему учителю
профессору В. Г. Разумовскому
посвящаю эту книгу*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основная цель предлагаемой книги — оказать помощь учителю в ежедневной подготовке к уроку. Система моделей уроков является определённой технологией построения (проектирования) учебного процесса. Каждая модель урока достаточно конкретна. Границы её применимости определяются опытом учителя, условиями данной школы и класса. Пособие представляет собой методику построения учебного процесса в соответствии со стандартом физического образования при использовании классического учебника авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, Н. Н. Сотского. Новое издание учебника отличается от предыдущих изданий, поэтому возникла потребность внести изменения в планирование занятий, в распределение материала, в подбор средств усвоения и др. В книге сделана попытка аккумулировать и реализовать современные представления об усвоении научных знаний.

Учебник Г. Я. Мякишева и др. разработан для изучения физики на базовом уровне, при этом в нём представлено большое количество дополнительного материала для того, чтобы учащиеся, проявляющие интерес к физике, могли изучать её на более высоком уровне. В данном пособии номера уроков, выделенных для углублённого изучения предмета и/или за счёт вариативной части учебного плана, обозначены звёздочкой (*).

Методика построения учебного процесса в форме системы моделей уроков состоит из общих рекомендаций по планированию уроков по темам и построению урока в целом, конкретных методических средств по организации учебной деятельности школьников. Планируемые результаты обозначены в задачах урока; план урока определяет его структуру и используемые приёмы и методы. Методические средства отобраны в каждом конкретном случае для решения приоритетных задач. Но почти всегда обращается внимание на формирование познавательной мотивации

обучения — раскрывается необходимость того или иного знания, определяется его статус, выделяется логика познания физических объектов и явлений, иницируется познавательная активность школьников формами организации учебного процесса.

В книге использованы следующие условные сокращения:

- **Ф-10:** Мякишев Г. Я. Физика. 10 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций / [Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский]; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М. : Просвещение, 2017.

- **П.:** Парфентьева Н. А. Сборник задач по физике. 10—11 кл. : пособие для учащихся общеобразоват. организаций / Н. А. Парфентьева. — М. : Просвещение, 2014.

- **ДЭ:** Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе : пособие для учителя. В 2 ч. / под ред. А. А. Покровского. — М. : Просвещение, 1978. — Ч. 1.

- **ФЭ:** Шахмаев Н. М. Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика / Н. М. Шахмаев, В. Ф. Шилов. — М. : Просвещение, 1989.

- **Хрестоматия:** Хрестоматия по физике : учеб. пособие для учащихся 8—10 кл. / под ред. Б. И. Спасского. — М. : Просвещение, 1987.

- **Справочник:** Енохович А. С. Справочник по физике и технике / А. С. Енохович. — М. : Просвещение, 1989.

ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ И ТВОРЧЕСТВО УЧИТЕЛЯ (вместо введения)

Современная методика обучения физике может и должна опираться на сравнительно небольшое число общих положений по организации образования школьников. При необходимости они конкретизируются по логике гипертекстовой ссылки. Остановимся на ряде ключевых положений.

Процесс обучения и его результаты выражены в деятельности учителя и учеников. Приобретение учащимся знаний в широком смысле (овладение опытом рода) происходит не только в деятельности самого ученика, но и в процессе совместной деятельности ученика и учителя, ученика и ученика. И всё дело — в особенностях этой деятельности, причём деятельность учителя не только управляет познанием и сообщает знания, но и важна сама по себе как процесс. Творческая деятельность учителя создаёт такую своеобразную и трудноописываемую

познавательную и нравственную атмосферу, в которой «вывариваются» лучшие качества человека, успешно формируются знания школьников.

Знания в процессе изучения предмета создаются (формируются) не в результате созерцания, в том числе при проведении опытов, чтении текстов, прослушивании рассказов, а при активном взаимодействии с культурой в коммуникации с другими людьми. При усвоении физики важнейшей формой такого взаимодействия является экспериментирование с объектами науки и явлениями природы. Такое экспериментирование со знаниями, т. е. их отбор, повторение, систематизация, выбор форм знаний, интерпретация знаний, определение границ их применимости, и обеспечивает успех обучения. Не случайно учителя особое внимание уделяют решению задач, где практически и реализуется такая работа со знаниями.

Образование школьников в области физики не сводится только к усвоению знаний учебного предмета. Содержание физического образования, широко понимаемое как социальный заказ, включает следующие компоненты: а) знания о природе (факты, понятия, принципы, модели, законы, теории) и опыте деятельности (этапы решения задач, проведения опытов и др.); б) опыт деятельности, выраженный в умениях решать задачи, выражать мысли, проводить эксперименты, определять статус знаний и др.; в) опыт творческой деятельности, выраженный в умениях систематизировать и интерпретировать знания, решать творческие задачи, строить проекты и конструировать устройства; г) опыт нравственной деятельности, выраженный в уважении к опыту предшественников, в понимании истории развития физики и её вклада в духовную и материальную культуру цивилизации. Не случайно в методике обучения физике выделяют следующие требования к содержанию курса: фундаментальность знаний, системность (целостность) их построения, разнообразие (иерархичность) языков описания (моделей) физических объектов и явлений, включение методологических знаний, в том числе знаний о границах применимости физических законов и методов.

Содержание изучаемого материала по смыслу, форме, объектам, структуре (логике), методологии развёртывания должно удовлетворять социальным и познавательным потребностям школьников. Объективные знания о мире должны приобрести субъективную окраску. Только тогда они будут усвоены, т. е. использованы. Всё более существенной и необходимой характеристикой развития учени-

ка становится рефлексия, где осознанность действий и их результатов делает знания субъективно значимыми. Вопросы методологии познания мира, которые впервые в явном виде и достаточно чётко выделены в стандарте физического образования, прямо работают на усвоение не только специфических знаний, но и всех знаний.

Технология обучения должна включать диагностируемые цели, средства их достижения и средства контроля. Но построить формально логическую систему диагностируемых целей физического образования вряд ли возможно. Можно предложить разумную совокупность целей, часть из которых более или менее однозначно диагностируема. Значит, роль учителя как интерпретатора (и проводника) целей весьма велика. На практике, например, он «измеритель» качества знаний школьников, он диагностирует и оценивает знания и умения в меру своего понимания целей обучения. Вот почему значимость образования самого учителя так велика. Именно поэтому в предлагаемой методике не только даются технологические решения, но и стимулируются творческие поиски учителя. Ведь в конечном итоге задача методики — помочь учителю в построении своего собственного урока, системы уроков, системы обучения.

В предлагаемой книге в форме рекомендаций по построению учебного процесса при использовании известного учебника Г. Я. Мякишева и др. расшифровываются для учителя возможные методические решения для планирования занятий, выбора отдельных приёмов организации обучения.

ОБ ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЕ УЧЕБНИКА

Электронная форма учебника, созданная АО «Издательство «Просвещение», представляет собой электронное издание, которое соответствует по структуре и содержанию печатному учебнику, а также содержит мультимедийные элементы, расширяющие и дополняющие содержание учебника.

Электронная форма учебника (ЭФУ) представлена в общедоступных форматах, не имеющих лицензионных ограничений для участников образовательного процесса. ЭФУ воспроизводится в том числе при подключении устройства к интерактивной доске любого производителя.

Для начала работы с ЭФУ на планшет или стационарный компьютер необходимо установить приложение «Учебник цифрового века». Скачать приложение можно из магазинов мобильных приложений или с сайта издательства.

Электронная форма учебника включает в себя не только изложение учебного материала (текст и зрительный ряд), но и тестовые задания (тренажёр, контроль) к каждой теме учебника, обширную базу мультимедиа-контента. ЭФУ имеет удобную навигацию, инструменты изменения размера шрифта, создания заметок и закладок.

Данная форма учебника может быть использована как *на уроке в классе* (при изучении новой темы или в процессе повторения материала, при выполнении как самостоятельной, так и парной или групповой работы), так и *во время самостоятельной работы дома, при подготовке к уроку*, для проведения внеурочных мероприятий.

**ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ
ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА: БАЗОВЫЙ / УГЛУБЛЁННЫЙ**

№ уроков с начала года	№ уроков с начала года	ТЕМЫ КУРСА	Лаб. работы	Контр. работы	Кол-во часов
		Введение	–	–	1/2
1	1–2	Физика: познание мира и новые технологии	–	–	1/2
		Механика	7/14	3/9	28/68
2–6	3–17	Кинематика: Основные понятия и закономерности	2	1/2	5/15
		Динамика	5/12	2/7	23/53
7–10	18–27	Законы механики Ньютона	1/3	1/2	4/10
11–16	28–46	Силы в механике	2/5	–/2	6/19
17–23	47–61	Законы сохранения импульса и энергии	1/2	1/2	7/15

24—29	62—70	Равновесие тела. Равновесие жидкости и газа	1/2	–1	6/9
		Молекулярная физика	3/5	3/5	18/38
30—33	71—77	Основы МКТ	1/1	1/1	4/7
34—38	78—88	Молекулярно-кинетическая теория идеального газа	1/1	1/2	5/11
39—41	89—95	Взаимные превращения жидкостей и газов	1/2	–1	3/7
42—47	96—108	Основы термодинамики	–1	1/1	6/13
		Основы электродинамики	2/4	3/4	21/42
48—54	109—124	Электростатика	–1	1/2	7/16
55—61	125—134	Законы постоянного тока	2/2	1/1	7/10
62—68	135—150	Электрический ток в различных средах	–1	1/1	7/16
69—70	151—175	Резерв / Резерв: практикум по решению задач и выполнению экспериментальных исследований	–5	–1	2/15
		Всего за 10 класс	12/40	9/26	70/175

Часть I. МЕХАНИКА

В основной школе ученики получили первоначальные знания о механических явлениях и их законах. В 10 классе эти знания должны быть дополнены и углублены, но главное — они должны быть приведены в систему. Ориентировочно на изучение механики следует планировать на базовом уровне при 2 ч в неделю не менее 32 ч, на углублённом уровне при 5 ч в неделю не менее 60 ч. Понятно, что этого мало. Поэтому остро встают задачи: рационально выделить и систематизировать материал, сократить второстепенное, оставить время для отработки умений.

Урок 1. Физика и познание мира

Задачи урока: ввести понятие о макроскопических телах; дать определение механического движения; познакомить школьников с теоретическим и экспериментальным методами; ввести понятие системы отсчёта; сформировать представление о механике как системе знаний, которая имеет границы применимости.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка основной учебной проблемы урока	4—5	Введение учителя
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	4—5	Выделение главного

I. На основе повторения изученного материала при совместной деятельности учитель организует введение школьников в мир механических явлений и систему знаний, которая этот мир описывает. С самого начала такое разделение объектов изучения и моделей носит принципиальный характер.

II. Приведём развёрнутый план изучения нового материала.

1. Мы продолжаем изучать физику. В настоящее время это развитая система знаний о наиболее простых и фундаментальных явлениях материального мира. Прежде всего эта система знаний представлена физическими теориями. Их много, но наиболее общих и принципиальных четыре: механика, молекулярная физика, электродинамика, квантовая физика.

Повторим, какие механические, тепловые, электрические явления мы изучали ранее. В чём выражается механическое движение тела? Какое движение называют тепловым?

2. В окружающем мире человек выделяет объекты и явления, а затем строит, подбирает различные средства их описания — знания. К ним относят понятия, модели объектов, физические величины, принципы, законы, теории.

Такие характеристики свойств объектов, как физические величины, с помощью эксперимента измеряются, получают количественное выражение. Но они могут быть рассчитаны и теоретически на основе законов, формул связи. (Приводят примеры.)

3. Исторически первой физической и вообще естественно-научной теорией была **механика**. Теория — это не просто знания, а законченная система знаний, которая в принципе описывает все явления выделенной области.

Механика изучает движение макроскопических тел — материальных объектов от атомов до звёзд. Но механика изучает не любое движение макроскопических тел, а только их перемещение в пространстве с течением времени. (Вызванный школьник демонстрирует относительность механического движения.)

4. Учитель вводит понятие о системе отсчёта как модели свойств пространства и времени, как средстве описания движения. Многовековой опыт людей позволяет выделить основные свойства пространства нашего мира: непрерывность, одинаковость свойств по одному направлению и разным направлениям, трёхмерность. Время течёт непрерывно, однонаправленно, одинаково в разных точках пространства. (Учитель рисует систему отсчёта, определяет в ней положение точки А.)

Далее коллективно обсуждают *вопросы*: какую систему отсчёта рационально выбрать для описания движения тела по прямой, на плоскости (опыт и рисунок на доске)? Как экспериментально определить координаты лампочки в классе? Приведите примеры явлений, которые не могут быть описаны в механике.

III. Вопросы для подведения итогов: что называют механическим движением? Какие явления изучает механика? Что такое научный факт? Что такое закон? Что такое модель?

Домашнее задание: Введение.

ГЛАВА I. КИНЕМАТИКА

Традиционно при изучении кинематики большое внимание уделяют языку описания движения — действиям над векторами, определению координат и др. Но важно при этом не потерять физический смысл рассматриваемых вопросов, а он укладывается в достаточно простую логику: есть разные механические движения, есть различные средства их описания. Многие понятия кинематики изучались в основной школе, поэтому в 10 классе на изучение кинематики планируется ориентировочно 11—12 уроков.

Урок 2. Виды механического движения и способы его описания

Задачи урока: ввести представление о модели макроскопического тела; сформулировать основную задачу кинематики (механики); дать классификацию механических движений по траектории и скорости; сформировать умения выделять механическое движение и описывать его в системе отсчёта.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Краткое повторение	5—7	Фронтальный опрос
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Краткий итог. Домашнее задание	2—3	Сообщение учителя

I. Повторяют *вопросы*: что изучает механика? Что она не может изучать? Для чего учёные вводят физические величины? Каким образом получают числовые значения физических величин? (Ответ. При прямых измерениях, при расчётах на основе косвенных измерений других величин.) Почему падение тела относят к механическим явлениям?

II. Как описать механическое движение тела в пространстве с течением времени — основная *учебная проблема* нескольких уроков. Общий ответ простой: надо знать положение тела в любой момент времени. Это и есть **основная задача кинематики**. Как решить её практически?

1. Прежде всего следует отметить, что тела бывают разными по форме и размерам. При изучении механического движения тел используют различные их модели. **Моделью** называют заместитель объекта, построенный или выбранный для его изучения. Наиболее простой моделью тела является **материальная точка** — это геометрическая точка, обладающая массой. При изучении тело заменяют моделью, а затем уже рассматривают движение модели.

2. Для выделения, а затем и описания движения материальной точки надо выбрать систему отсчёта. В беседе повторяют определение **системы отсчёта**: это средство описания движения, включающее тело отсчёта, систему координат, часы. С помощью изображённой на доске системы отсчёта выполняют *упражнения*: определите координаты точки *A*, определите координаты точки *B*. Что происходит с координатами материальной точки при её движении из точки *A* в точку *B*? Как ещё можно задать положение материальной точки? (Ответ. С помощью радиус-вектора; изучают рисунок 1.2 учебника.)

3. Существует достаточно много характеристик движения. Но для простой классификации движений нам надо вспомнить две характеристики — траекторию и скорость. **Траектория** — это линия, по которой движется материальная точка. Выделяют движения: а) прямолинейное и криволинейное; б) равномерное и неравномерное. В беседе рассматривают *вопросы*: какое из указанных движений самое простое? Какое движение называют неравномерным? Как движется шарик по жёлобу? Как движется мел по доске? Приведите примеры неравномерного движения.

4. Далее решают простые задачи.

1. Докажите построением, что описание положения материальной точки зависит от выбора системы отсчёта.

2. Задачи: П., № 1, 2.

III. Домашнее задание: § 1, 2*; П., № 5.

Урок 3. Решение задач

Задачи урока: повторить понятие о скалярных и векторных величинах; сформировать умения находить проекцию вектора на ось, складывать и вычитать векторные величины на примере вектора перемещения.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10	Выполнение теста
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Рассказ. Решение задач. Записи в тетради
III. Домашнее задание	3—5	Сообщение учителя

I. Для проверки домашнего задания организуется письменная работа (тест) по вариантам.

Тест

Вариант 1

1. В каком из ответов приведены лишь названия механических явлений?

А. Книга, полёт птицы, система отсчёта. Б. Линейка, координата, движение машины. В. Движение машины, падение яблока, книга, лежащая на столе. Г. Координата, физическая величина, падение яблока. Д. Стол, движение машины, время.

2. Что такое материальная точка?

А. Маленькое тело. Б. Макроскопическое тело. В. Геометрическая точка. Г. Модель тела. Д. Нет верного ответа.

3. Какое из перечисленных ниже движений является прямолинейным и неравномерным?

А. Движение мяча, брошенного вертикально вверх. Б. Движение конца стрелки часов. В. Движение Земли вокруг Солнца. Г. Движение санок с горки. Д. Нет верного ответа.

4. Что такое система отсчёта?

А. Система координат. Б. Прямоугольная система координат. В. Физическая величина. Г. Часы. Д. Нет верного ответа.

5. Что изучает кинематика?

А. Природу. Б. Физические величины. В. Строение и свойства тел. Г. Закономерности изменения положения тела с течением времени. Д. Нет верного ответа.

Вариант 2

1. В каком из высказываний перечислены только физические величины?

А. Механическое движение, время, скорость. Б. Система отсчёта, тело, скорость. В. Кинематика, время, материальная точка. Г. Время, движение, тело. Д. Нет верного ответа.

2. Меняется ли положение книги, лежащей на столе?

А. Нет, не меняется. Б. Сама книга не может двигаться. В. Координаты книги постоянны. Г. Меняется в выбранной системе отсчёта. Д. Нет верного ответа.

3. В каком случае движение тела нельзя рассматривать как движение материальной точки?

А. Движение Земли вокруг Солнца. Б. Движение спутника вокруг Земли. В. Движение поезда по маршруту Москва — Курск. Г. Движение детали, обрабатываемой на токарном станке. Д. Нет верного ответа.

4. Что называют телом отсчёта?

А. Стол. Б. Начало координат. В. Физическую величину. Г. Тело — часть системы отсчёта. Д. Нет верного ответа.

5. На рисунке 1 точками отмечены положения пяти движущихся слева направо тел через равные интервалы времени. Интервалы времени между двумя отметками на всех полосах одинаковы. На какой полосе зарегистрировано равномерное движение с наибольшей скоростью?

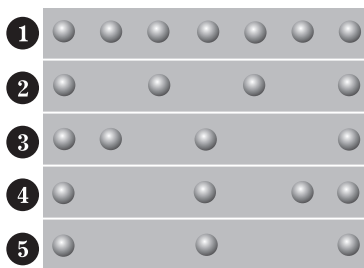


Рис. 1

II. Учитель фронтально повторяет скалярные и векторные физические величины, понятие траектории, вводит новую характеристику движения — перемещение, далее коллективно решают задачи на сложение и вычитание векторов, определе-

ние проекции вектора на оси координат. Для решения рекомендуем задачи: П., № 10, 16, 20.

III. Домашнее задание: § 1—3; П., № 8, 14.

Урок 4. Равномерное прямолинейное движение и его описание

Задачи урока: повторить свойства и определить характеристики равномерного движения материальной точки; сформировать умения выделять такой вид движения и характеризовать его.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10	Решение задач
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

I. У доски и в тетрадях решают задачи, аналогичные задачам в домашней работе, фронтально проговаривают правила действий с векторами.

II. Изучение нового материала организуют по следующему плану:

1. Демонстрация и определение явления (образ явления). Введение понятия скорости (рис. 1.9 и 1.10 учебника).

2. Получение уравнения движения материальной точки в векторной ($\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}t$) и скалярной ($x = x_0 + v_x t$) формах, причём при прямолинейном движении систему отсчёта выбираем из одной оси, а значит, получаем одно уравнение движения.

3. Графическое описание прямолинейного равномерного движения.

4. Решение задач: а) пример решения задачи 1 на с. 24 учебника; б) П., № 22, 25, 26.

III. Домашнее задание: § 4; упр. на с. 23.

Урок 5*. Решение задач

Отработка знаний и формирование умений должны обеспечиваться разнообразием видов деятельности. Во второй части урока возможно проведение самостоятельной работы, при этом допускается использование учебника.

Задача для коллективного решения: П., № 28.

Самостоятельная работа

Вариант 1

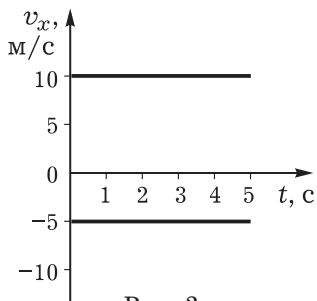


Рис. 2

1. Материальная точка переместилась из начала системы координат в точку M с координатами $x = 3$, $y = 4$. Определите модуль вектора перемещения и его проекции на оси и выполните рисунок.
2. На рисунке 2 изображены графики зависимости скорости двух тел от времени. Постройте графики движения тел, если в начальный момент времени они находились в начале координат.

Вариант 2

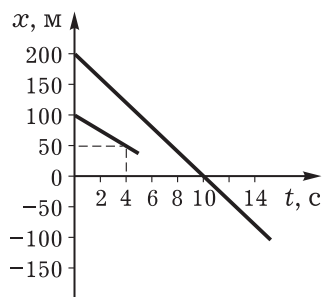


Рис. 3

1. Движение автомобиля описывается уравнением $x = 20 + 10t$. Постройте график для скорости автомобиля. Определите координаты автомобиля и его скорость через 5 с после начала движения. Чему в этот момент было равно перемещение?
2. На рисунке 3 изображены графики движения двух мотоциклистов. По ним постройте графики скорости, определите направление и модуль скорости. Предскажите, встретятся ли мотоциклисты.

Домашнее задание: § 5*; П., № 29, 30.

Урок 6*. Относительность движения

Задачи урока: поставить задачу описания движения материальной точки в разных системах отсчёта; раскрыть относительность траектории, перемещения, скорости; ввести закон сложения скоростей; сформировать умение описывать движение материальной точки в разных системах отсчёта.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка учебной проблемы урока	2—3	Введение учителя
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

I. В начале урока ставят *вопросы*: изменится ли движение, если мы будем описывать его в разных системах отсчёта? В любой ли системе отсчёта удобно описывать движение? (Ответ. Нет.) При решении задач бывает необходимо перейти от описания движения в одной системе отсчёта к описанию движения в другой системе отсчёта. Как это сделать — вот *учебная проблема* урока.

II. Изучение нового материала может быть представлено как решение задачи.

1. Ставится задача описания движения тела в двух системах отсчёта: одна система связана с доской, другая — с движущейся прямолинейно и равномерно линейкой (рис. 4). Учитель с помощью ученика демонстрирует движение тела прямолинейно вверх по оси OY .

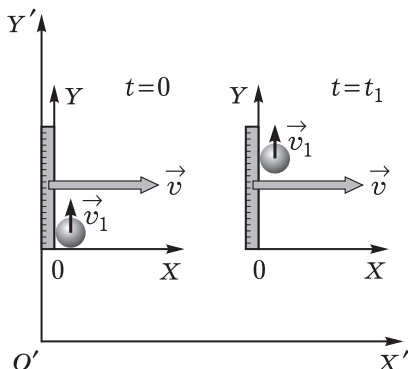


Рис. 4

2. Последовательно в беседе решают задачи: как изменяются координаты тела в разных системах отсчёта? Одинакова ли траектория движения в разных системах отсчёта? Как определить перемещение?

На доске и в тетрадях отмечают положение тела в начале и конце движения, изображают векторы перемещения тела, перемещения подвижной системы отсчёта. Записывают: $\Delta \vec{r}_2 = \Delta \vec{r}_1 + \Delta \vec{r}$. Одинаково ли перемещение тела в разных системах отсчёта за одно и то же время? (Ответ. Нет.)

3. По учебнику получают формулу для сложения скоростей.

4. Решение задач: II., № 36, 39, 40.

III. *Вопросы для подведения итогов*: почему говорят, что механическое движение относительно? Может ли быть так: в одной системе отсчёта тело покоится, в другой — движется? Какая величина, характеризующая движение тела, не зависит от выбора системы отсчёта? (Ответ. Время.)

Домашнее задание: § 6*, 7*; упр. на с. 30 (1, 2).

Урок 7. Мгновенная скорость. Ускорение

I. Понятие скорости повторяется и углубляется с помощью решения задач и вопросов.

II. Понятие ускорения изучается при работе с учебником: конспектирование, выделение главного, устное повторение по вопросам и др.

III. *Домашнее задание*: § 8, 9; упр. на с. 33, 36.

Урок 8. Движение с постоянным ускорением

Задачи урока: продолжить изучение мгновенной скорости неравномерного движения и ускорения; сформировать умение описывать движение материальной точки с постоянным ускорением.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	8—10	Фронтальный опрос. Решение задач
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	3—4	Выделение главного

I. У доски проверяется решение домашней задачи, один из школьников самостоятельно решает подобную задачу. Фронтально повторяется теория. *Вопросы для повторения:* в какой ситуации используют закон сложения скоростей? Зависит ли описание движения материальной точки от выбора системы отсчёта? Какую систему рациональнее выбирать? Как определяют систему отсчёта?

II. Урок насыщен теоретическим материалом, который сначала следует рассмотреть кратко, а затем остановиться на некоторых аспектах при решении задач. Приведём последовательность рассмотрения материала.

1. Определение и повторение неравномерного движения. *Демонстрация опыта:* движение шарика по жёлобу, падение мячика (ДЭ, с. 31 и др.). Основное свойство прямолинейного неравномерного движения — изменение скорости.

Описание мгновенной скорости как скорости в данный момент времени. Как определить модуль и направление мгновенной скорости? На первую часть учебной проблемы дают теоретический ответ с помощью учебника, во второй части опираются на опыт.

2. Определение ускорения и равноускоренного движения материальной точки.

3. Скорость и уравнения движения материальной точки при равноускоренном движении. Из определения ускорения $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ получают выражение для скорости, потом находят проекцию ускорения на одну ось. Для обычных классов с опорой на простое выражение $x = x_0 + \Delta x$ и расшифровкой Δx получают кинематическое уравнение движения. Следует подчеркнуть, что с его помощью можно решить основную задачу механики.

4. На доске изображены графики ускорения, скорости, координаты при прямолинейном равноускоренном движении материальной точки (рис. 5). Они кратко комментируются учителем.

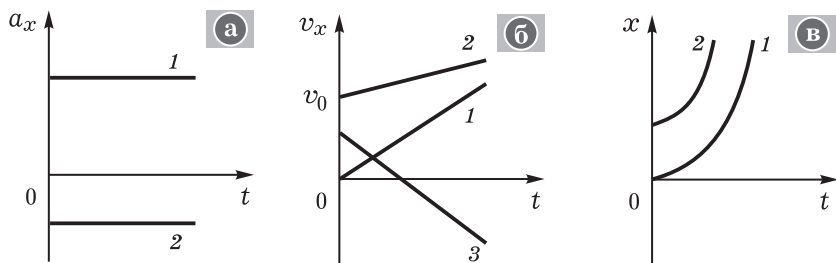


Рис. 5

III. Вопросы для подведения итогов: какое движение мы изучали? Просто ли выделить прямолинейное равноускоренное движение тела в природе? Приведите пример такого движения. Что характеризует ускорение? Как для равноускоренного движения рассчитывают скорость, координаты точки? Можно ли с помощью уравнения движения определить ускорение, если известны координаты движения точки, начальная скорость и время движения?

Домашнее задание: § 10; упр. на с. 41.

Урок 9*. Решение задач

Задачи урока: сформировать умения выделять ускоренное движение и характеризовать его с помощью физических величин — ускорения, скорости, уравнения движения.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение теории	10	Устный и письменный опрос
II. Формирование умений	30—35	Решение задач, работа с учебником
III. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

II. Во второй части урока в групповой работе выполняют фронтальные экспериментальные задания по определению ускорения шарика при равноускоренном движении по наклонному желобу. Рекомендуем следующую последовательность работы.

1. Повторение теории *по вопросам:* можно ли шарик при движении по желобу моделировать материальной точкой? Какое движение мы наблюдаем? Как можно определить ускорение?

(Ответ. Прямо не измерить; по формуле определения ускорения не рассчитать; значит, следует использовать формулу $S = \frac{at^2}{2}$.) Как определить модуль перемещения шарика? Как определить время?

2. При небольшом наклоне жёлоба провести два-три опыта с движением шарика, определить среднее значение перемещения и времени движения, затем рассчитать ускорение.

3. Контрольные вопросы и задания: какие характеристики движения шарика можно определить, зная ускорение? Рассчитайте мгновенную скорость шарика перед ударом о цилиндр. Точное ли получилось значение? Каковы причины погрешностей при выполнении опытов?

III. Домашнее задание: § 11*, 12*; упр. на с. 46, 48.

Урок 10*. Свободное падение и его описание

Задачи урока: изучить характеристики свободного падения тела как частного случая ускоренного движения; продолжить формирование умений выделять и описывать простейшие механические явления.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	5—7	Устная проверка решения задач
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

I. На Земле одним из распространённых видов механического движения является свободное падение тела. Что это за движение и как его описывать — *учебные проблемы* урока.

1. Люди давно заметили, что все тела падают на землю. Выделим и охарактеризуем подобное движение.

Демонстрируют *опыт*: падение пластилинового шарика и ватки.

Вопросы для организации беседы: каково начальное состояние тел? (Ответ. Одинаковое по высоте, с нулевой начальной скоростью.) Одинаково ли падают тела? (Ответ. Нет: движение ускоренное, но ускорения разные.)

Перед учёными встал вопрос: от чего это зависит? Опыт с падением тел провели в безвоздушном пространстве. Обнаружилось, что в безвоздушном пространстве разные тела падают с одинаковым ускорением. Почему? (Ответ. Не мешает воздух.) При определении явления необходимо отвлекаться от воздуха.

Найти подходящую модель оказалось сравнительно просто. Это можно сделать, заменив тело моделью — материальной точкой. Так как у неё нет размеров, то воздух на движение такого объекта влияния не оказывает.

Движение материальной точки под действием притяжения Земли получило название **свободного падения**. (Заметим, что это — динамическое определение явления.) Можно ли наблюдать в условиях Земли свободное падение тел? (Ответ. Нет, нельзя. Но многие случаи падения тел хорошо описываются законами свободного падения.)

2. Каковы закономерности свободного падения — следующая *учебная проблема* урока. Она решается при рассмотрении конкретных задач.

Так как свободное падение — это движение материальной точки с ускорением \vec{g} , то для описания этого движения подходят соответствующие формулы кинематики. Применим их для трёх случаев свободного падения: а) движение с начальной скоростью, направленной по вертикали; б) движение с начальной скоростью, направленной по горизонтали; в) движение с начальной скоростью, направленной под углом к горизонту.

У доски сначала решают экспериментальную задачу по определению времени падения шарика со стола, затем коллективно рассматривают наиболее сложный вариант свободного падения (задача 4 из упр. на с. 54 учебника).

II. Отработка изученного материала продолжается при решении задач в ходе *самостоятельной работы*, в результате которой несколько работ оценивается.

1. На высоте 20 м от поверхности земли вертикально вверх бросили тело со скоростью 10 м/с. С какой скоростью оно упадёт на землю?
2. Мальчик бросил горизонтально мяч из окна дома с высоты 20 м. С какой скоростью был брошен мяч, если он упал на расстоянии 6 м от дома?

Индивидуально решают задачи: П., № 81, 87, 93.

III. *Домашнее задание:* § 13*, 14*; упр. на с. 54.

Урок 11. Равномерное движение материальной точки по окружности. Решение задач

Задачи урока: изучить основные характеристики криволинейного движения на примере движения по окружности — траекторию, перемещение, скорость и центростремительное ускорение, период; сформировать умение решать задачи.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10	Решение задач. Фронтальное повторение

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
II. Изучение нового материала	15—20	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Записи в тетради
III. Формирование умений	15—20	Решение задач
IV. Домашнее задание	1	Комментарий учителя

I. С целью формирования умений у доски объясняют решение одной из домашних задач. Параллельно решают новую задачу.

С какой высоты горизонтально со скоростью 10 м/с было брошено тело, если дальность полёта составила 10 м?

II. Приведём развёрнутый план изучения нового материала.

1. В природе, очевидно, криволинейное движение тел более распространено, чем прямолинейное. Давайте приведём примеры... Докажем, что криволинейное движение сложнее прямолинейного. Но сначала вновь выберем модель тела — материальную точку. Во-первых, при криволинейном движении материальной точки меняется не одна координата, во-вторых, скорость всё время меняет направление, а значит, движение всегда ускоренное.

При изучении криволинейного движения движение на каждом участке можно представить движением по дуге окружности (рис. 6). Поэтому обратимся к описанию движения материальной точки по окружности.

2. Рассмотрим важный, но частный случай криволинейного движения — равномерное вращение материальной точки по окружности.

По модулю скорость постоянная, по направлению — меняется (рис. 7). Перемещение направлено по хорде AB и не совпадает с направлением скорости. Определим модуль и направление ускорения (рассказ по логике учебника).

Вопросы для организации беседы: от чего зависит модуль ускорения при равномерном вращении точки по окружности? Изменяется ли ускорение при таком движении? Может ли материальная точка двигаться по криволинейной траектории без ускорения? Меняется ли ускорение при равномерном движении материальной точки по изображённой на рисунке траектории (см. рис. 7)?

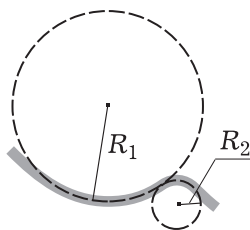


Рис. 6

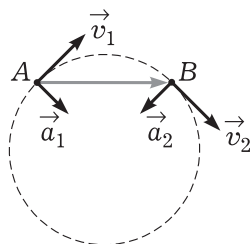


Рис. 7

3. Для описания равномерного вращения материальной точки по окружности используют характеристику «период обращения», т. е. время T одного оборота. При этом скорость $v = \frac{2\pi R}{T}$.

III. Коллективно решают несколько типичных задач.

1. Период обращения космического корабля вокруг Земли 90 мин, высота орбиты 320 км. Чему равна скорость корабля?
2. Определите скорость и ускорение конца секундной стрелки часов, если её длина равна 10 см.
3. С каким ускорением вращается бельё при отжиме в барабане стиральной машины, если радиус барабана 20 см, а частота его вращения 600 об./мин?

IV. Домашнее задание: § 15; П., № 105.

Урок 12*. Решение задач (резерв учителя)

Урок 13. Поступательное и вращательное движение твёрдого тела

Задачи урока: ввести понятие об абсолютно твёрдом теле как модели тела; определить простые механические движения твёрдого тела; определить характеристики движения твёрдого тела — траекторию, угловую и линейную скорости и др.; сформировать умение применять модель твёрдого тела для описания движений тел; определить границы применимости модели «материальная точка».

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	5—7	Устный опрос
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ. Постановка опытов. Беседа. Работа с учебником
III. Отработка знаний и умений	20	Решение задач
IV. Домашнее задание	1	Комментарий учителя

I. В начале урока осуществляется краткая проверка домашнего задания. Фронтально повторяют *вопросы*: какие объекты мы изучаем в механике? Какую модель тела мы ввели? Как она определяется? Почему для изучения движения тела используют модели? Что называют моделью тела? (Ответ. То, чем можно заменить тело с целью изучения его свойств и движений.)

II. При любом ли движении тела можно использовать такую его модель, как материальная точка? (Ответ. Нет.) Например, книга вращается. С помощью материальной точки мы не сможем адекватно описать это движение. Почему? Какие модели

тела ещё существуют? Когда и как их следует использовать — основные учебные проблемы урока.

1. Введение понятия об абсолютно твёрдом теле как модели тела. *Вопросы для организации беседы:* есть ли абсолютно твёрдые тела в природе? (Ответ. Нет.) В каких случаях необходимо движение тела моделировать движением абсолютно твёрдого тела? Какая из моделей тела — материальная точка или абсолютно твёрдое тело — сложнее? Какая из них точнее описывает движение тела?

2. Поступательное движение: определение, демонстрация опыта. При поступательном движении все точки твёрдого тела движутся одинаково (вид траектории, путь, перемещение, скорость, ускорение), поэтому достаточно описать движение одной точки. Выбор этой точки — за исследователем.

3. Вращательное движение: определение, демонстрация опыта. *Вопросы для организации беседы:* какие физические величины вводят для характеристики вращательного движения? Одинакова ли угловая скорость точек тела? Как определяют линейную скорость точки тела? Одинаково ли ускорение разных частей вращающегося твёрдого тела?

III. Рекомендуем рассмотреть следующие упражнения:

1. Докажите, что педаль велосипеда участвует в поступательном движении (рис. 1.59 учебника).
2. Как движется тело, если две его точки движутся с разными скоростями (рис. 8)? Как направлена ось вращения?
3. Пример решения задачи (задача 1 на с. 62 учебника).
4. П., № 108, 110.

IV. Домашнее задание: § 16; упр. на с. 61.

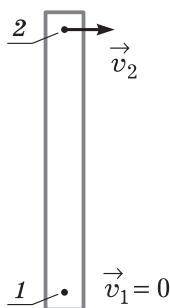


Рис. 8

Урок 14*. Решение задач (резерв учителя)

Урок 15*. Обобщающее повторение. Контрольная работа

Задачи урока: систематизировать знания о видах движения и его кинематических характеристиках; диагностировать усвоение знаний и умений.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка основной учебной проблемы урока. Систематизация знаний	7—10	Фронтальное повторение. Работа с учебником

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
II. Контрольная работа	30—35	Решение задач
III. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. В кинематике выделяют основные виды движений и дают их характеристики. В таблице 1 (с. 28) систематизировано главное из изученного материала.

II. По кинематике для контроля знаний лучше всего использовать тест (см., например: Кабардин О. Ф. Задания для итогового контроля знаний учащихся по физике в 7—11 классах. — М. : Просвещение, 1995. — С. 58—67). Ниже приводятся варианты классической контрольной работы.

Контрольная работа

Вариант 1

1. Автомобиль, ехавший со скоростью 20 м/с, начал тормозить и до остановки прошёл путь 20 м. С каким ускорением он двигался? Сколько времени тормозил?
2. Охарактеризуйте движение материальной точки (рис. 9). С каким ускорением она двигалась? Какой путь прошла за время, равное 5 с?
3. На какую высоту поднимется стрела, выпущенная из лука вертикально вверх со скоростью 10 м/с? Чему равно перемещение стрелы при падении её на землю? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

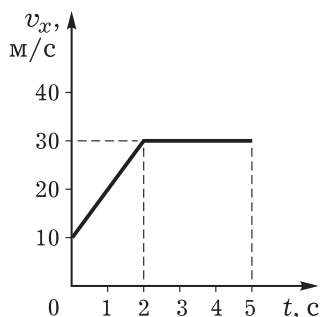


Рис. 9

Вариант 2

1. Уравнение прямолинейного движения материальной точки $x = 4 - 4t + 4t^2$. С каким ускорением двигалось тело? В какой момент времени его скорость равна нулю?
2. Охарактеризуйте движение материальной точки (рис. 10). С каким ускорением она двигалась? Какой путь прошла за 2 с?
3. Точильный круг радиусом 10 см имеет период вращения 0,01 с. Чему равны скорость и центростремительное ускорение точек, наиболее удалённых от оси вращения? (Примечание. При решении выполните поясняющий рисунок.)

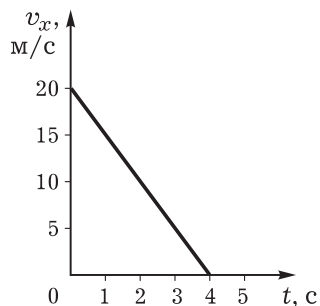


Рис. 10

Вариант 3 (индивидуально)

1. Сколько времени падало тело, если за последние 2 с оно пролетело 60 м? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.
2. Лодка, имеющая скорость относительно воды 6 м/с, должна пересечь реку по кратчайшему пути. Какой курс относительно берега надо держать при переправе, если скорость течения воды 2 м/с? Решение поясните рисунком.
3. Докажите гипотезу о том, что автомобиль может двигаться по выпуклому мосту радиусом 40 м так, что его центростремительное ускорение будет равно ускорению свободного падения.

III. Домашнее задание: П., № 73, 75.

ГЛАВА II. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Тема «Динамика» в 10 классе, по нашему мнению, должна быть представлена в содержательном и организационном плане тремя частями: законами Ньютона, законами взаимодействий (сил), а также практикумом по решению задач. На практикуме предполагается коллективное и индивидуальное решение задач. Уроки решения задач можно планировать и после изучения конкретных тем.

Динамика изучает причины ускоренного движения тел — действия на них других тел, материальных объектов. Самым общим законом, который описывает результат действия одного тела на другое, является второй закон Ньютона. Он устанавливает связь между следующими характеристиками: силой, приложенной к телу, массой этого тела и его ускорением. Таким образом, появляется возможность по известным массе и силе определить ускорение, а затем и другие кинематические характеристики движения. При изучении законов Ньютона необходимо помнить, что они применимы для описания движения материальной точки в инерциальной системе отсчёта вне зависимости от природы действующей силы.

В целом при изучении динамики советуем ориентироваться на формирование следующих *умений*:

- выделять физические явления (объекты, их движения) и характеризовать их физическими величинами (массой, силой и др.);
- применять законы и принципы динамики для описания типичных механических движений (например, законы взаимодействия тел);

- планировать и проводить простейшие экспериментальные исследования (зависимости: силы трения от ...; силы упругости от ...; дальности полёта от ...), представлять (в виде графиков, таблиц, расчётов) и интерпретировать их результаты;

- различать методы научного познания (наблюдение, измерение, построение гипотез, моделирование, получение следствий) и применять их при описании механических явлений;

- определять характер знания (факт, гипотеза, закон, принцип, модель, технический объект и др.);

- применять полученные знания для объяснения окружающих явлений в природе и технике, оценивать границы применимости знаний (законов Ньютона, закона Гука, модели тела — материальной точки и др.);
- составлять простейшие задачи по образцу.

Урок 1. Тела и их взаимодействие. Явление инерции

Задачи урока: раскрыть содержание принципа причинности; углубить понятие материальной точки; ввести понятия о взаимодействии тел и свободном теле; раскрыть суть инерциального движения как идеального движения; сформировать умения выделять взаимодействия и действия тел, качественно характеризовать их.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10	Беседа по вопросам
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Постановка и обсуждение опытов. Работа с учебником
III. Самостоятельная работа	10	Фронтальный эксперимент. Записи в тетради
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

I. Обсуждение результатов контрольной работы (теста) по кинематике сочетают с повторением основных положений изученного материала.

Вопросы для организации беседы: что называют механическим движением? Какие виды движения (по траектории, скорости, ускорению) вы изучали? Какие из них наиболее распространены в природе и технике? Что такое материальная точка? Зачем это понятие вводится? Что называют системой отсчёта? Для чего она необходима? С помощью каких двух методов можно определить характеристики движения (координату, время, скорость, ускорение)? При повторении используют таблицу 1.

II. В динамике изучают причины механического движения тел, т. е. вскрывают природу механического движения, формулируют принцип причинности и на этой основе определяют характеристики движения. Предлагаем такую последовательность изучения нового материала.

1. С давних времён люди задумывались: каковы причины равномерного и ускоренного движений тел? Одинаковы ли причины этих движений? В вопросах представлена основная учебная проблема данного и следующего уроков.

Кинематика

Факты

- Существование тел;
определение макроскопического тела
- Определение механического движения; примеры механического движения тел
- Классификация движений тела:
прямолинейное и криволинейное, равномерное и ускоренное
- Пространство и его свойства;
определение системы отсчёта

Модель

- **Модели тела** — материальная точка и абсолютно твёрдое тело
- Определение физических величин — координаты, скорости, ускорения
- **Закономерности** равномерного прямолинейного движения точки: $\vec{v} = \text{const}$, $x = x_0 + v_x t$
- **Закономерности** равноускоренного прямолинейного движения точки:
$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2, \quad v_x = v_{0x} + a_x t$$

Следствия

- Описание свободного падения
- Расчёт характеристик разных движений (скорость, перемещение, путь, ускорение)
- Баллистика

Об истории поисков ответов на эти вопросы учитель кратко информирует школьников. Желательно привести цитаты из научных трудов.

Общий вывод: научные знания формируются постепенно, трудом многих учёных.

Основоположником динамики является гениальный физик Исаак Ньютон. Он жил в XVII в. в Англии. Англия того времени из аграрной страны превращалась в индустриальную. Быстрый рост промышленности требовал новых технических изобретений. Но работа технических устройств нуждалась в научном обосновании. Так практика стимулировала развитие физики. Ньютон стал первым среди учёных того времени.

2. При каких условиях происходит ускоренное движение тел? Многочисленные наблюдения и опыты позволили сделать **вывод:** тело движется ускоренно, если на него действует другое тело или тела. В выводе учёных можно убедиться самому. Поставим простые *опыты*: а) мяч свободно падает на стол под действием Земли; б) карандаш начинает движение, т. е. изменяет свою скорость, под действием руки; в) магнит изменяет прямолинейное движение стального шарика; г) движение шайбы изменяется под действием клюшки. Кроме того, опыты убеждают: если первое тело действует на второе, то и второе действует на первое. Односторонних действий нет. Пронаблюдаем столкновение двух бильярдных шаров, отталкивание тележек с помощью пружины.

Вопросы для обсуждения: на основе чего можно доказать, что тела действуют друг на друга? К чему приводит действие одного тела на другое? Когда действие начинается (заканчивается)? **Выводы** формулирует учитель: а) явление взаимодействия тел — самое распространённое в природе; в природе нет односторонних действий; б) во взаимодействии всегда участвуют два (или более) тела, взаимодействие тел выражается в изменении скоростей их движений. Последний вывод уточняется с помощью *опыта*: воздушный шарик подвешен у стенки (рис. 11, а, б), действуем на него палочкой. **Вопросы для обсуждения:** что происходит с шариком? Изменяется ли его скорость? А что меняется? Какое предположение (гипотезу) можно высказать на основе опыта? **Вывод** делает учитель: действие может приводить к изменению размеров или формы тела (деформации); в этом случае моделировать тело материальной точкой уже нельзя. Может ли тело находиться в покое, если на него оказывает действие другое тело? Для ответа демонстрируют и обсуждают *опыт* с бруском, подвешенным на нити. **Вопросы:** действуют ли

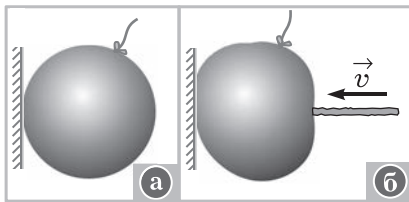


Рис. 11

на брусок окружающие тела? Какие тела действуют? Почему брусок не меняет свою скорость? Изменится ли его скорость, если одно из действий исключить? Как это практически сделать? **Вывод:** два (или более) действия на тело могут уравновесить или компенсировать друг друга. При этом сами действия не исчезают.

3. Как будет двигаться тело, если на него не действуют другие тела? Повторяют известный *опыт*: движение шарика (тележки) по песку, ткани, стеклу (ФЭ, опыт 19).

Вопросы для организации беседы: в каком случае происходит менее значительное изменение скорости при движении шарика? Почему? Как стал бы двигаться шарик, если бы не было сопротивления движению? В качестве **вывода** учитель зачитывает цитату из работы Галилея: «Когда тело движется по горизонтальной поверхности, не встречая никаких сопротивлений движению, то... движение его является равномерным и может продолжаться постоянно...» Затем повторяют определение инерциального движения из базового курса физики.

В заключение обсуждают *проблему*: какое из окружающих движений можно считать инерциальным. Вводится понятие о **свободном теле (материальной точке)** как идеальном объекте.

III. Отработка знаний о взаимодействии тел продолжается в виде *самостоятельных экспериментов*. Выполняются простые *опыты*, для которых требуется следующее **оборудование**: два шарика, линейка и лист бумаги.

Задание 1. Пронаблюдайте взаимодействие шариков при их столкновении. Выполните рисунки, на которых изобразите: а) движение шариков до взаимодействия: направления движения и скорости; б) взаимодействие: направления сил и ускорений; в) движение шариков после взаимодействия: направления движения и скорости. Сделайте вывод о том, в чём заключается взаимодействие тел.

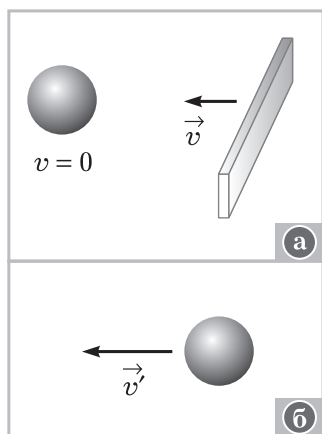


Рис. 12

Задание 2. Пронаблюдайте действие линейки на покоящийся шарик. Выполните рисунки, на которых изобразите: а) состояние шарика до действия на него линейки (рис. 12, а); б) действие линейки на шарик: направления скорости, ускорения, силы; в) состояние шарика после действия линейки (рис. 12, б). Ответьте на *вопросы*: какие характеристики движения шарика изменяются под действием линейки? Чем отличаются явления взаимодействия от действия?

IV. *Домашнее задание:* § 18; П., № 99.

Урок 2. Масса — характеристика инертности тела

Задачи урока: сформировать представление об инертности как свойстве тел; сформировать понятие о массе как о физической величине; раскрыть зависимость результата взаимодействия тел от их инертности.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и контроль знаний	10—12	Письменная работа. Ответы у доски. Устный опрос
II. Изучение нового материала	15—20	Постановка и обсуждение опытов. Беседа
III. Самостоятельная работа	15	Фронтальный эксперимент. Записи в тетради
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

I. Предлагаем следующий вариант повторения.

1. Двум школьникам дают задания на листочках для письменного ответа.

Задание 1. С каким из изображённых на рисунке 13 тел можно связать систему отсчёта? В чём выражается взаимодействие тел? Выполните рисунок.

Задание 2. В указанных явлениях выделите действия: мяч падает на землю, книга лежит на столе, две машины сталкиваются на перекрёстке. Ответ обоснуйте. Чем отличаются в кинематике одни системы отсчёта от других? Приведите примеры систем отсчёта, выполните рисунок.

2. Школьник у доски отвечает на вопросы учителя и учащихся: можно ли утверждать, что подвешенный на штативе груз находится в состоянии покоя? Как это доказать? В чём заключается условие покоя или прямолинейного равномерного движения тела? Можно ли различить состояния покоя и прямолинейного равномерного движения? (Ответ. В системе отсчёта, связанной с наблюдателем, можно. С точки зрения других наблюдателей — нельзя. Например...) Различимы ли между собой состояния покоя при отсутствии действий и при компенсации действий? (Ответ. На основе кинематики — нет. На основе динамики — да.

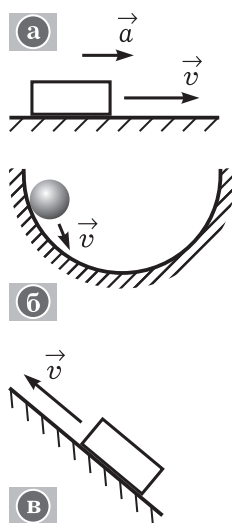


Рис. 13

Материальные, причинно-следственные связи при компенсации действий не исчезают.) Все ли системы отсчёта в равной степени удобны для использования? Докажите, что система отсчёта, связанная с вращающимся диском, не очень удобна для описания движения.

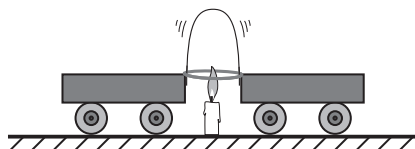


Рис. 14

II. Зависят ли ускорения тел при взаимодействии от свойств самих тел — основная учебная проблема урока.

1. Учитель демонстрирует опыт по взаимодействию тележек (рис. 14).

Вопросы для обсуждения:

изменяется ли состояние движения тележек (состояние покоя) при их взаимодействии? Куда направлено ускорение? Как это доказать? (В тетради выполняется рисунок.) Одинаково ли изменяются скорости тележек при взаимодействии? (Школьники могут высказать предположения, гипотезы, после чего проводятся опыты.)

Вывод: при взаимодействии разные тела по-разному изменяют скорость: одни — в большей степени, другие — в меньшей; свойство тел по-разному изменять скорость при взаимодействии получило название **инертности**.

Представление об инертности сразу же закрепляется при обсуждении *вопросов*: почему стекло трескается, если ударить молотком по небольшой гире, и остаётся без изменения, если ударить по большой гире (рис. 15, а, б)? Почему результат одного и того же действия на разные тела различен (рис. 16, а, б)? Почему обрывается нижняя нить, если резко за неё дер-

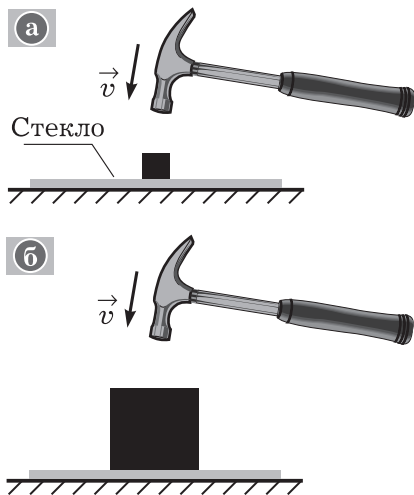


Рис. 15

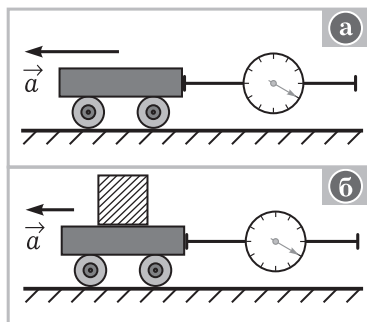


Рис. 16

нуть (рис. 17)? Можно ли мгновенно изменить скорость тела? Какое тело легче вывести из состояния покоя: менее инертное или более инертное?

2. Цель науки — как можно точнее, на количественном уровне, изучить физические явления. Поэтому свойства тел характеризуют физическими величинами. Инертность тела характеризуют массой, т. е. **масса** тела — мера его инертности. Чем инертнее тело, тем больше его масса и тем меньше оно меняет свою скорость при взаимодействии. Проводятся *опыты*, доказывающие различие масс у разных тел: столкновение двух шариков на жёлобе, отталкивание учеников на тележках, взаимодействие керамических магнитов и т. п.

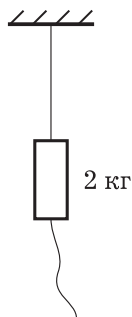


Рис. 17

Вопросы: как определить массу тела? (Ответ. Надо её измерить, т. е. сравнить массу данного тела с эталонной массой. Эталон массы, т. е. тело, массу которого принимают за единицу, специально создают.) Как сравнить массу тела с эталонной массой? Первый способ — прямое взаимодействие тела и эталонного тела. Учитель ставит опыт (рис. 18), приводит известную формулу

$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$ и раскрывает её смысл.

Вопросы для организации беседы: почему выбор тела эталонной массы такое ответственное дело? Какие эталоны массы вам известны из истории физики? Взаимодействуют ли тела (см. рис. 18) при вращении центробежной машины? Как можно определить их ускорение? Удобно ли таким способом измерять массу тела?

Второй способ — взвешивание. С давних времён массы тел сравнивали с помощью рычажных весов. Например, в Египте более 3000 лет тому назад использовался как раз такой способ сравнения масс. Были соответствующие эталоны — тела из бронзы. В Древней Руси такими единицами массы были золотник (12,8 г) и пуд (16,38 кг). И сейчас ещё двухпудовые гири используют в соревнованиях по поднятию тяжестей (демонстрируются весы, повторяются правила взвешивания).

Вопросы для обсуждения: взаимодействуют ли тела при сравнении их масс с помощью взвешивания? Как экспериментально доказать, что масса ружья больше массы пули? Можно ли это доказать теоретически? Реально ли массу электрона измерить на рычажных весах? Почему? Какой способ измерения массы чаще используется на практике? Как экспериментально доказать, что масса двух тел равна сумме масс обоих тел? (Учитель может дать определение аддитивности массы.) Существуют и

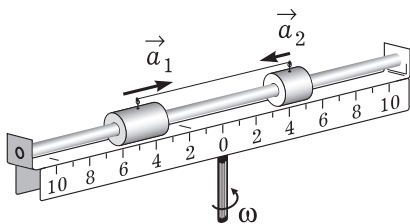


Рис. 18

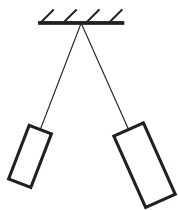


Рис. 19

другие способы измерения массы тела, например с помощью пружинных весов (показывается бытовая безмен). О принципе работы таких весов речь пойдёт дальше.

III. Сначала выполняется *экспериментальное задание* по сравнению масс двух тел. *Вопросы для обсуждения:* в чём заключается взаимодействие цилиндров при столкновении (рис. 19)?

Как изменяется скорость цилиндров? (Необходимо выполнить два рисунка: до и после взаимодействия.) Какой из цилиндров приобрёл бóльшую скорость? Как это доказать? Какой из цилиндров имеет бóльшую массу? Можно ли в данном опыте измерить массу цилиндра?

Далее проводится **самостоятельная работа** по вариантам.

Вариант 1

При взаимодействии два шара получили ускорения $0,1 \text{ м/с}^2$ и 1 м/с^2 . Равны ли их массы? Можно ли определить отношение масс шаров?

Вариант 2

При выстреле из баллистического пистолета (рис. 20) два снаряда улетели на расстояния 1 м и 2 м. Одинаковы ли их массы? Определите массу первого снаряда, если масса второго 20 г.

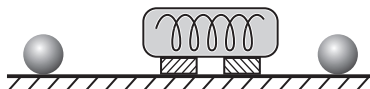


Рис. 20

IV. Домашнее задание: § 19; П., № 115 (на повторение).

Урок 3. Сила — характеристика действия

Задачи урока: ввести понятие силы как физической величины, характеризующей действие одного тела на другое; сформировать умения выделять действия тел, характеризовать действия силами (выделять и обозначать силы, складывать несколько сил, измерять силу).

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и контроль	10—15	Решение задач. Ответы у доски. Фронтальное повторение
II. Изучение и отработка нового материала	25—30	Рассказ. Постановка и обсуждение опытов. Беседа. Ответы на вопросы
III. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

1. У доски готовят рассказы по темам: а) сравнение масс Земли и Луны (ученика предупреждают заранее); б) инертность тел и масса (возможно использование обобщённого плана ответа или записей в тетради).

Двое школьников письменно решают одну и ту же задачу. Два тела массами 400 г и 600 г двигались навстречу друг другу и после удара остановились. Чему была равна скорость второго тела, если первое двигалось со скоростью 3 м/с? Выполните рисунки.

Фронтально повторяют *вопросы*: в чём выражается взаимодействие Земли и Луны? Что нужно знать для теоретического расчёта массы тела? Как экспериментально определить массу тела? Какое свойство тел характеризует масса?

II. Учебную проблему урока формулируют при обсуждении *вопросов*: от чего зависит ускорение взаимодействующих тел? Зависит ли ускорение тела от силы, приложенной к нему? Умеем ли мы сравнивать действия одного тела на другое? Как охарактеризовать действие?

1. Учитель ставит *опыты* по кинематике и динамике (рис. 21).

Вопросы для организации беседы: меняется ли ускорение тележки при изменении действия на неё со стороны нити (груза)? Изменится ли направление ускорения, если изменить направление действия? Чем различаются между собой действия тел друг на друга? (Ответ. Направлением, числовым значением, точкой приложения.)

Для характеристики действия одного тела на другое вводят физическую величину — силу. Сила — векторная величина. Вектор силы характеризуется точкой приложения, направлением, модулем. Правило определения числа сил: есть действие, есть сила. Нередко в книгах и устной речи понятия «действие» и «сила» отождествляются. Ничего страшного в этом нет, но следует помнить: действие — реально существующее физическое явление, а сила — средство его описания.

2. Как и любую другую физическую величину, силу можно измерить, т. е. сравнить с эталонной силой. В качестве эталонной силы выбрана такая сила, которая за время 1 с изменяет скорость тела массой 1 кг на 1 м/с. Единицей силы является ньютон (1 Н). На практике силу измеряют динамометром (демонстрируется). Растянутая пружина оказывает определённое действие на тело. Силу этого действия можно принять за эталонную силу и значение силы определять по значению удлинения пружины.

Вопросы для отработки знаний: из чего состоит простейший динамометр (выдан учебный динамометр)? В каких единицах он проградуирован? Как градуируют динамометр? Как измеряется неизвестная сила? Как, например, измерить силу тяжести предлагаемого груза?

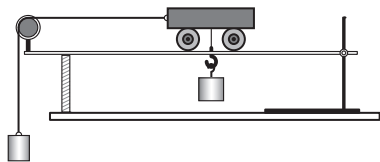


Рис. 21

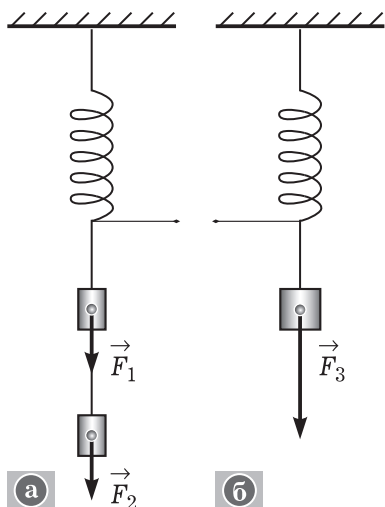


Рис. 22

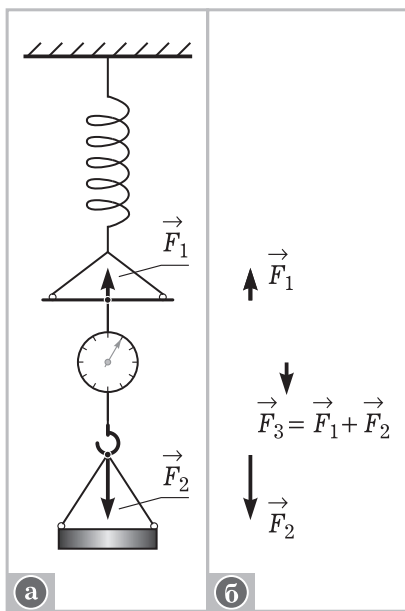


Рис. 23

3. Чаще всего на тело одновременно оказывается несколько действий. Каждое действие характеризуется силой. Можно ли все действия описать одной силой? Как определить эту силу, т. е. как складывать силы?

Во-первых, векторные величины складываются по другим правилам, нежели скалярные. Во-вторых, физический смысл имеет сложение сил, приложенных к одному телу. Вспомним простейшие случаи сложения сил — силы действуют в одном направлении или противоположных. Учитель и школьники подвешивают сначала один груз, а затем дополнительный (рис. 22). Обсуждают *вопросы*: сколько сил действует на крючок динамометра? Как они направлены? Можно ли заменить действие двух грузов действием одного груза? Как это практически сделать? (Учитель подвешивает гирию массой 1 кг.) В итоге учитель даёт *определение*: силу, которая оказывает на тело такое же действие, как и несколько одновременно приложенных сил, называют равнодействующей этих сил. (Подчёркнём, что сложение и разложение сил в значительной мере математическая операция и полученные силы не описывают реальных действий.)

Как определить модуль и направление равнодействующей силы, если силы направлены противоположно? При каком условии равнодействующая двух сил равна нулю? Как будет изменяться равнодействующая сила при увеличении силы F_2 (рис. 23)? Как сложить две силы, действующие под углом друг

к другу, — следующая *учебная проблема* урока. Для демонстрации учитель использует набор по статике с магнитными держа-телями.

Вопросы для обсуждения: сколько тел (и сил) действует на кольцо или шайбу (рис. 24, а)? Как с помощью динамометра поочерёдно измерить эти силы (рис. 24, б)? (Вместо резинки устанавливают динамометр и растягивают его так, чтобы шайба А заняла первоначальное положение...) Как определить равнодействующую двух сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 (рис. 24, в)? Как рассчитать равнодействующую двух сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 ?

В итоге формулируется **вывод**: равнодействующая двух сил, действующих под углом друг к другу, находится как диагональ параллелограмма.

III. В конце урока повторяют *вопросы*: что такое сила? Для чего используется это понятие? Как определить силу, действующую на тело? Зависит ли ускорение тела от силы при взаимодействии тел?

Домашнее задание: § 19; вопрос «Можно ли с помощью динамометра (рис. 2.3 учебника) определить силу действия ведра воды на крюк?».

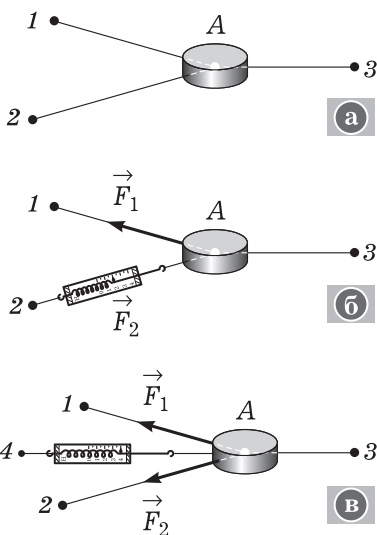


Рис. 24

Урок 4. Инерциальные системы отсчёта (ИСО). Первый закон Ньютона. Принцип относительности Галилея*

Задачи урока: продолжить изучение движения тел в разных системах отсчёта (СО); ввести понятие ИСО, раскрыть её преимущества при описании механического движения; сформулировать первый закон динамики и принцип относительности.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний	10—12	Фронтальное повторение. Экспериментальные задачи

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ. Постановка и обсуждение опытов. Записи в тетради
III. Отработка изученного материала	15—20	Решение задач. Беседа
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

I. Урок начинается с краткого фронтального *повторения по вопросу*: какое явление называют инерциальным движением? В чём заключается основное свойство окружающих нас тел? (Ответ. Во взаимодействии.) Почему при изучении движения тела последнее моделируют материальной точкой? Что называют системой отсчёта? (Ответ. Средство описания движения, состоящее из системы координат, тела отсчёта, часов.) Для чего необходимы системы отсчёта? (Ответ. Для описания движения тел: определения координат, траектории и т. п.)

Далее по указаниям учителя организуется выполнение простых экспериментальных заданий, для которых используется следующее оборудование: листок бумаги, ручка.

Задание 1. Расположите ручку перпендикулярно поверхности листка. *Вопросы*: изменяется ли состояние конца ручки относительно СО, связанной со столом? Изменяется ли состояние движения конца ручки в СО, связанной с листком бумаги, при движении последней? Как охарактеризовать эти состояния?

Задание 2. Как изменяется состояние движения конца ручки в выбранных СО, если лист бумаги двигать прямолинейно и равномерно? Как доказать, что траектория движения тела зависит от того, в какой СО рассматривается движение? Как это экспериментально показать? В каком случае траектория движения конца ручки — простая линия? (Ответ. В СО, в которой тело покоится.) В какой СО удобнее описывать движение тела?

II. Изучение нового материала начинается с постановки *учебной проблемы*: в любой ли СО свободное тело находится в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения.

1. Вначале обсуждают *вопрос*: зависит ли состояние покоя тела от того, в какой СО оно рассматривается?

Организуется *беседа по вопросам*: как теоретически и экспериментально решить эту научную проблему? Одинаково ли, например, движение гири относительно СО, связанной со столом, и СО, связанной с бегущим человеком? Есть ли СО, относительно которых тело движется прямолинейно и равномерно? Каковы примеры таких СО? Чем отличается движение тела в этих СО? (При необходимости повторяются *вопросы*: что такое свободное тело? В каком случае тело находится в покое?)

Динамика материальной точки

Явление

равномерное
прямолинейное

движение тела



ускоренное

движение тела

причина?

действие
как сторона
взаимодействия

Средства описания (модели)

**Основные понятия —
физические величины**

- Масса
- Сила
- Ускорение
- Физическая система
(материальная точка)

Законы

- Ньютона
- Сил упругости
тяготения
трения

Следствия

- Законы сохранения импульса и энергии
- Динамика системы материальных точек
- Теория колебаний математического маятника

Учитель делает **обобщение**: существуют такие системы отсчёта, относительно которых тело покоится или движется прямолинейно и равномерно, если на него не действуют другие тела или их действия компенсируются (табл. 2). Такие системы отсчёта получили название **инерциальных**.

2. Каковы же основные черты инерциальной системы отсчёта (ИСО)? Во-первых, движение свободного тела (или тела, действия на которое скомпенсированы) в такой системе отсчёта самое простое — покой или прямолинейное равномерное движе-

ние. В зависимости от ИСО модуль и направление скорости тела разные. Во-вторых, в ИСО изменение скорости движения тела происходит в результате действия окружающих тел. В других системах отсчёта — неинерциальных — ускорение тела зависит и от свойств самой системы отсчёта. В-третьих, в ИСО при одинаковых начальных условиях тела движутся одинаково. Последнее иллюстрируется мысленным опытом: мяч из руки падает совершенно одинаково в классной комнате и вагоне, движущемся прямолинейно и равномерно. Гениальный итальянский физик Г. Галилей писал: «Камень всегда упадёт в одно и то же место корабля, неподвижен он или движется с какой угодно скоростью...» Утверждение о том, что механические явления при одинаковых начальных условиях протекают одинаково в ИСО, получило название **принципа относительности Галилея**.

3. В чём состоит значение принципа относительности? Как экспериментально его подтвердить?

Можно выбрать бесконечное множество разных инерциальных систем отсчёта и в любой из них изучать (описывать) механические явления. Отсюда весьма важный вопрос: одинаково ли будет описание явлений в разных ИСО, т. е. одинаковы ли будут законы? Принцип относительности отвечает утвердительно. Можно смело применять законы механики в любой ИСО! Но удобнее всё же пользоваться такой ИСО, в которой начальные координаты и скорости тела самые приемлемые для решения задачи.

III. Организуется выполнение простых фронтальных экспериментальных заданий с использованием следующего оборудования: два тела и два листка бумаги с изображёнными на них системами координат.

Задания: а) установите тела в системах отсчёта так, чтобы их координаты были одинаковы; б) приведите систему отсчёта *1* в состояние прямолинейного равномерного движения относительно другой системы отсчёта; в) сравните координаты, скорости тел в «своих» системах отсчёта; г) сравните координаты и скорости тела *A* в двух системах отсчёта, сделайте выводы.

Вопросы для обсуждения: являются ли системы отсчёта *1* и *2* инерциальными? Как это можно доказать? Одинаковы ли начальные координаты и скорости тел *A* и *B*? Как движутся тела в «своих» системах отсчёта? Одинаковы ли координаты (скорости, перемещения, траектории) тела *A* в системах отсчёта *1* и *2*?

Вывод формулирует учитель: при одинаковых начальных условиях явление протекает одинаково (в нашем случае — покой) в разных инерциальных системах отсчёта, но кинематические характеристики движения зависят от системы отсчёта. (Желательно повторить формулы для расчёта перемещения, скорости.)

IV. *Вопросы для подведения итогов урока:* какие новые знания о механических явлениях вы получили? Что такое ИСО? Что утверждает первый закон Ньютона? В чём суть принципа относительности?

Домашнее задание: § 20; упр. на с. 73.

Урок 5. Второй закон Ньютона

Задачи урока: определить связь между силой, действующей на тело, массой тела и его ускорением — ввести основной закон динамики; продолжить формирование умения описывать понятия и законами наблюдаемые явления; раскрыть значение второго закона Ньютона, показать границы его применимости.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и контроль	10—15	Ответы у доски. Устный опрос
II. Изучение нового материала	15—20	Постановка и обсуждение опытов. Беседа
III. Совершенствование знаний и умений	15—20	Решение экспериментальных задач. Беседа
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Записи в тетради. Выделение главного

I. У доски двое школьников готовятся к ответу по *вопросам* (записывают конспект и кратко его поясняют): а) о массе тела; б) о сложении двух сил (с показом одного опыта).

Двое школьников выполняют экспериментальное задание: изучить зависимость натяжения нитей от угла между ними при постоянной равнодействующей силе (см. рис. 24; ДЭ, с. 46 и др.). Задание выполняется по инструкции, письменный отчёт состоит в выполнении рисунков с обозначением сил, их направления, в пояснении действий. Фронтально обсуждают *вопросы*: когда тело движется ускоренно? От чего зависит результат действия силы? Действуют ли на тела, графики скоростей которых изображены на рисунке 25, силы? Почему резким рывком проще вытащить лист бумаги из-под книги, стакана с водой (показывают опыт)?

II. Перед постановкой учебной проблемы фронтально повторяют *вопросы*: какое механическое движение тела наиболее распространено в природе? (Учитель подводит к ответу: ускоренное.) Какова причина ускоренного движения тела? (Ответ. Действие других тел.) От чего зависит характер ускоренного движения тела?

Итак, между внешним действием и ускоренным движением тела существует причинно-следственная связь. Как выражается эта связь — основная учебная проблема данного урока.

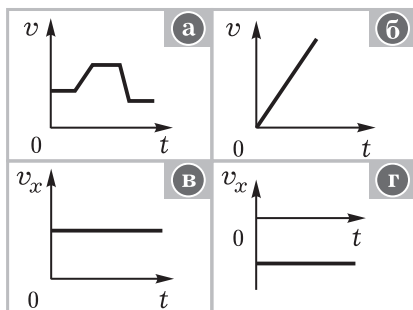


Рис. 25

1. В ходе урока на доске и в тетрадях ведут записи (табл. 3).
Введение второго закона динамики осуществляется с помощью

Второй закон Ньютона

Таблица 3

Факты

- Ускоренное движение макроскопических тел в природе
- Факты взаимодействия тел
- Описываемое **явление** — движение тела под действием других тел
- Понятия: инерциальная система отсчёта, механическое движение и др.
- Физические величины: ускорение, время и др.

Модель

- Модель тела — материальная точка
- Физические характеристики явления:
 a — характеристика ускоренного движения тела;
 m — мера инертности тела;
 F — характеристика внешнего действия
- Закон описывает явление действия внешнего тела на другое тело, что приводит к ускоренному движению последнего:

$$a \sim F, a \sim \frac{1}{m} \Rightarrow a = \frac{F}{m} \Rightarrow m\vec{a} = \vec{F}$$

Следствия

- Определение характеристик ускоренно движущегося тела
- Расчёт неизвестной силы по характеристикам движущегося тела
- Границы применимости: только для материальной точки, в ИСО
- Решение основной задачи механики

эксперимента с тележкой (ФЭ, с. 49). Вполне допустимо проведение лишь качественного анализа опытов. При этом обсуждают *вопросы*: как изменяется скорость тележки при увеличении действующей силы? На основе чего можно говорить об увеличении ускорения тела? Как доказать зависимость ускорения тела от его массы при постоянной силе? (Учитель предоставляет возможность высказать предположения, затем проводит опыт.) Далее учитель обобщает данные экспериментов, даёт формулировку закона.

2. Каково значение второго закона динамики? Основной закон классической механики был открыт не сразу. До Ньютона большой вклад в его открытие сделал Галилей. Но в своей гениальной работе «Математические начала натуральной философии» (1687) Ньютон дал точную формулировку закона, раскрыл его смысл и значение при решении задач механики. Прежде всего речь идёт о решении главной задачи динамики — определении характера движения тела (материальной точки) под действием заданных (известных) сил. Как определить характер движения? По известной силе (результатирующей силе) можно найти ускорение, по известным начальным условиям (координатам и скорости) можно определить положение тела в любой последующий момент времени. Так закон устанавливает (раскрывает) динамическую причинность.

Обсуждают *вопросы*: в любой ли системе отсчёта справедлив второй закон динамики? Как доказать, что он справедлив только в ИСО? Можно ли применить закон к вращающемуся телу? (Ответ. Нет, так как разные точки тела движутся с разными ускорениями. Закон справедлив лишь для тел, которые можно моделировать материальной точкой.) Можно ли с помощью второго закона динамики предсказать (предвидеть) положение тела в любой момент времени?

III. Формирование знаний и умений продолжается при решении экспериментальных и расчётных задач.

1. Обсуждают *вопросы*: почему показания динамометра не меняются при равномерном вращении диска (рис. 26)? Как изменяются показания динамометра, если вместо катка массой 0,25 кг взять каток массой 0,5 кг? Согласуется ли это со вторым законом динамики? Почему изменяются показания динамометра, если изменить скорость вращения диска? Изменяется ли при этом действие нити на каток? Является ли

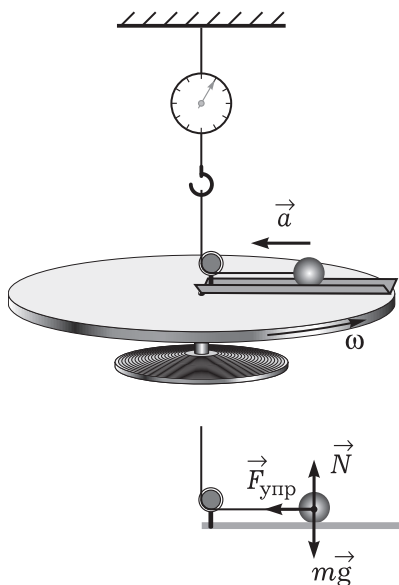


Рис. 26

движение катка при вращении диска равноускоренным? Какое действие обеспечивает это движение?

2. Как физические величины можно определить с помощью второго закона динамики — эту *учебную проблему* рассматривать при решении задач.

Сначала по учебнику организуется работа с примером решения задачи № 2 (см. с. 80). На доске ученик выполняет рисунок, фронтально обсуждают *вопросы*: куда направлено ускорение бруска? Почему необходимо выбрать систему отсчёта? Какую? С каким телом правильнее её связать? Можно ли брусок моделировать материальной точкой? Почему это важно?

Типичные задачи для решения: П., № 116, 117, 120.

IV. При подведении итогов вновь используется таблица 3.

Домашнее задание: § 21, 23*; П., № 121, 123.

Урок 6*. Принцип суперпозиции сил. Решение задач

I. Изучение нового материала организуется при работе с учебником. Школьники отвечают на *вопросы*: от чего зависит ускорение тела (материальной точки), если к нему приложено несколько сил? Как определяется равнодействующая сила? Какая сила на рисунке 2.15 учебника играет роль равнодействующей? Как складываются силы? Чему равна равнодействующая сила для учебника, лежащего на столе?

II. Коллективно и индивидуально решают задачи по выбору учителя (см. с. 79 учебника, § 23).

III. *Домашнее задание*: § 22*, 23*; упр. на с. 82 (1, 3).

Урок 7. Третий закон Ньютона — закон взаимодействия

Задачи урока: продолжить формирование понятий «сила», «действие», «взаимодействие»; раскрыть содержание и значение третьего закона динамики; сформировать умения выделять взаимодействие тел и описывать его, используя третий закон Ньютона.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и контроль	10—12	Письменная работа. Ответы у доски. Устный опрос
II. Изучение нового материала	15	Рассказ. Постановка опытов. Беседа
III. Отработка изученного материала	15—20	Самостоятельная работа: опыты, записи в тетради
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Ответы на вопросы. Сообщение учителя

I. Повторение организуется с целью контроля знаний и подготовки школьников к изучению нового материала. У доски трое школьников готовятся по *вопросам*: а) решение одной из домашних задач; б) решение задачи П., № 118; в) ответы на вопросы карточки: как экспериментально подтвердить справедливость второго закона динамики? Зависит ли масса тела от его ускорения и действующей силы? Какие силы действуют на груз в опыте с вращающимся диском (выполнить рисунок на доске)?

Ответы у доски проверяют быстро, без детализации. Возможно также письменное воспроизведение конспекта предыдущего урока двумя-тремя школьниками на местах. Фронтально повторяют *вопросы*: что называют взаимодействием тел? (Ответ. Физическое явление, которое заключается в том...) В чём проявляется взаимодействие тел? (Ответ. В их ускоренном движении, если тела можно моделировать материальными точками; движение тел взаимосвязано.) Сколько тел может взаимодействовать между собой? Приведите примеры явления взаимодействия тел на расстоянии и при соприкосновении. (Заполняют первую колонку таблицы 4 на доске и в тетрадах.)

Таблица 4

Взаимодействие тел

Знаем	Узнали
1. Взаимодействуют как минимум два тела	1. Силы равны по модулю: $F_{1,2} = F_{2,1}$
2. Взаимодействие = действие _{2,1} + действие _{1,2}	2. Силы противоположны по направлению, приложены к разным телам
3. Появляются ускорения a_1, a_2	3. Силы одинаковой природы

Методический комментарий. На приведённые вопросы школьники не всегда дают точные ответы. Задача учителя состоит в том, чтобы привести учащихся к полным и верным ответам. Например, школьники нередко приводят такие примеры взаимодействия: летит самолёт, шарик начал движение. Но это не явление взаимодействия. Поэтому следует поставить *дополнительный вопрос*: по каким признакам можно судить о существовании взаимодействия? Встречающиеся в практике преподавания вопросы типа «Сколько сил возникает при взаимодействии?» нельзя считать удачными. Сила уравнивается при взаимодействии. Школьники не понимают, в каком контексте учитель использует понятие силы.

II. Изучение нового материала начинается с постановки *учебной проблемы*: как количественно описать явление взаимодействия тел.

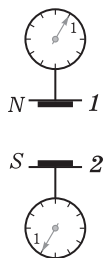


Рис. 27

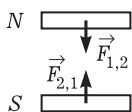


Рис. 28

Для описания взаимодействия тел *необходимо знать*: а) как связаны между собой силы, действующие на тела; б) как связаны ускорения взаимодействующих тел. На эти и некоторые другие вопросы отвечает третий закон Ньютона (запись темы урока).

1. О взаимодействии тел многое уже известно. Но наука стремится к точному знанию, к количественным характеристикам. Вот почему следует подробнее рассмотреть силы, действующие на тела при их взаимодействии.

Для введения закона используют *эксперимент*. Установка изображена на рисунке 27. К столикам динамометров приклеены разными полюсами керамические магниты. При сближении магниты достаточно сильно взаимодействуют, динамометры позволяют судить о силе действия одного магнита на другой.

Учитель организует беседу по *вопросам*: взаимодействуют ли магниты? На основе чего можно сделать такой вывод? Но почему же они ускоренно не движутся? Как доказать, что действие одного тела на другое приводит к противодействию? (Ответ. Удалять один магнит; показания обоих динамометров уменьшаются. Добавить один керамический магнит...) Чем различаются показания динамометров? (Ответ. Стрелки отклонились в противоположные стороны.) О чём это говорит? Что можно сказать о модулях сил? (Лучше: одинаковы ли показания динамометров?) К каким телам приложены силы?

Один из школьников на доске, остальные в тетрадях выполняют рисунок 28. С помощью беглого опроса подводят *итоги*: что же нового о взаимодействии мы узнали? (Заполняется вторая колонка таблицы 4.) На доске записывают формулу закона.

2. Очевидно, что все ускоренно движущиеся тела участвуют во взаимодействиях. Движения взаимодействующих тел связаны между собой. Как соотносятся ускорения взаимодействующих тел — *учебная проблема* урока. Чтобы решить её, для каждого из тел записываем второй закон динамики:

$$m_1 \vec{a}_1 = \vec{F}_{2,1} \quad \text{и} \quad m_2 \vec{a}_2 = \vec{F}_{1,2}.$$

С учётом третьего закона динамики получаем

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2, \quad \text{или} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{|\vec{a}_2|}{|\vec{a}_1|}.$$

С последней формулой мы уже знакомы, экспериментально проверяли её справедливость.

III. Отработка изученного материала начинается с повторения третьего закона Ньютона. Далее учитель формулирует *учебную проблему* этого этапа урока: любой закон следует изучать для того, чтобы применять его для объяснения явлений. К доске

приглашаются двое школьников, которые получают задания на карточках.

Карточка I. Изменить массу одного из магнитов. Исследовать взаимодействие магнитов на разных расстояниях, сравнить силы (выполните рисунок на доске). Выполняется ли третий закон динамики?

Оборудование: демонстрационная установка, набор керамических магнитов (рис. 29).

Карточка II. Продemonстрировать явление взаимодействия тел при их непосредственном соприкосновении. Провести два-три измерения, сравнить силы, сделать вывод о выполнимости третьего закона динамики.

Оборудование: два динамометра с круглыми подставками, штативы (рис. 30).

Решение заданий на карточках проверяют и обсуждают (кратко) после выполнения фронтальных экспериментальных заданий. В первом случае делают **вывод** о выполнимости третьего закона динамики вне зависимости от массы (формы, размера...) взаимодействующих тел, во втором случае — для взаимодействия при соприкосновении.

Для класса на карточках записаны задания. Учитель даёт указания по оформлению решения.

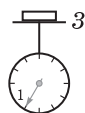


Рис. 29



Рис. 30

Вариант 1

Проведите опыты по изучению взаимодействия двух динамометров: А. Изменяются ли показания одного динамометра, если тянуть за другой? Какой можно сделать вывод? Б. Одинаковы ли показания динамометров при разном их растяжении? (Снять два показания.) Какой можно сделать вывод? В. Что показывает (измеряет) динамометр — силу упругости или силу действия со стороны другого динамометра? Г. Повторите опыт для случая, когда между динамометрами есть нить или тело. Сделайте общий вывод о выполнимости третьего закона динамики.

Вариант 2

Проведите опыты по изучению взаимодействия керамических магнитов: А. Как доказать, что керамические магниты взаимодействуют между собой (отталкиваются)? Выполните рисунок с обозначением ускорений. Б. Как на опыте доказать, что действие носит взаимный характер? (Подсказка: один магнит придерживать, а другой двигать к нему.) Выполните рисунок с обозначением действующих сил. В. Как, используя один динамометр, показать выполнимость третьего закона динамики? Одинаково ли справедлив закон для случаев притяжения и отталкивания?

IV. Итоги урока подводят в форме краткого повторения главного: что нового изучено о взаимодействии? Можно ли одной силой описать взаимодействие тел? Могут ли силы взаимодей-

ствия компенсировать друг друга? Приведите примеры взаимодействия тел.

Домашнее задание: § 24; упр. на с. 82 (2).

Урок 8*. Решение задач

Задачи урока: продолжить формирование умения описывать взаимодействия тел с помощью законов Ньютона.

I. В начале урока проверяют (10—12 мин) домашнее задание: один-два ученика решают задачу у доски, фронтально повторяют теорию, опыт по взаимодействию керамических магнитов выполняют у доски.

II. На доске заранее подготовлен пример решения типичной задачи.

Брусек тянут за нить с постоянной по модулю и направлению силой. Чему равна сила, если масса бруска 0,25 кг, а за первую секунду он прошёл путь 0,5 м?

Учитель кратко поясняет решение, используя элементы беседы. Так задаётся образец действий.

1. *Анализ текста и физического явления.* Учитель читает текст задачи, одновременно показывает запись условия с выделением того, что дано и что требуется найти. Обсуждают *вопросы*: какое явление рассматривается в задаче? (Ответ. Прямолинейное равноускоренное движение тела в результате постоянного действия другого тела — нити.) Почему брусок можно моделировать точкой? Какая задача по условию: кинематическая или динамическая? (Ответ. Динамическая, так как уже задана динамическая характеристика — масса.) Каков характер требования? (Ответ. Нужно найти динамическую характеристику — силу.) Комментируют рисунок 31: почему изображена одна сила? Какие состояния движения следует выделить? Постоянно ли ускорение бруска? Как выбрать систему отсчёта? Должна ли она быть инерциальной?

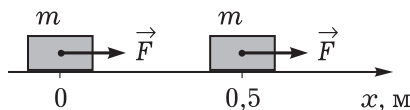


Рис. 31

2. *Идея решения:* нужно использовать второй закон динамики и формулу кинематики для определения ускорения через время и перемещение.

3. *Решение* (математическая модель). Для описания движения выбираем простейшую ИСО: система координат — одна ось, тело отсчёта — Земля (см. рис. 31).

Второй закон Ньютона для материальной точки имеет вид

$$m\vec{a} = \vec{F}.$$

В скалярном виде при проецировании величин \vec{a} и \vec{F} на ось OX получаем $ma = F$.

Дополнительное уравнение даёт формула $s_x = \frac{a_x t^2}{2}$, при этом перемещение и ускорение проецируются в натуральную величину.

В итоге получаем $F = ma = m \frac{2s}{t^2}$. Расчёт даёт значение 0,25 Н.

4. *Анализ решения задачи.* Можно ли предположить, что в нашем случае брусок движется по окружности? Можно ли систему отсчёта связать с самим телом? Может ли человек тянуть за нить с такой силой? Почему трудно продемонстрировать описанное движение?

III. Для самостоятельного решения рекомендуем задачи: П., № 122, 131. По ходу урока к доске приглашаются решать задачи отдельные учащиеся. В одних случаях решение может быть проверено учителем, в других — его слушает весь класс. Возможны индивидуальные задания на карточках или из задачников. Кроме расчётных задач, необходимо использовать качественные и экспериментальные. Приведём примеры.

1. Лошадь тянет сани. Выделите все возможные взаимодействия. Объясните, почему двигаются сани. Выполните условный рисунок, обозначьте силы, действующие на лошадь и сани.
2. Выясните причины ускоренного движения автомобиля при движении по ровной дороге и под уклон.
3. Каковы показания динамометра (рис. 32)? Как изменятся показания динамометра, если слева (справа) подвесить дополнительный груз?

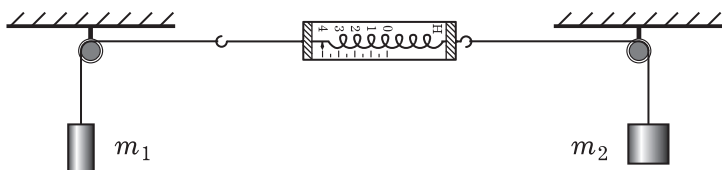


Рис. 32

4. Первый динамометр показывает силу 5 Н (рис. 33). Каковы показания второго динамометра (шкала его закрыта)? (Дополнительно можно решить задачу: два мальчика растягивают динамометр с силой 100 Н каждый. Что показывает динамометр?)

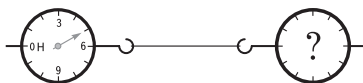


Рис. 33

IV. *Домашнее задание:* § 23*, 24; упр. на с. 82 (5); индивидуально — П., № 130.

Урок 9. Геоцентрическая система отсчёта. Принцип относительности Галилея*

I. Первая учебная проблема урока: как на практике выбрать (построить) инерциальную систему отсчёта.

С помощью учебника доказывают, что Земля лишь условно является инерциальной системой отсчёта. Вопрос о маятнике Фуко предлагается для индивидуального рассмотрения.

II. Вторая учебная проблема урока — углубление знаний о принципе относительности. Сначала организуют повторение по вопросам: что такое система отсчёта? Для чего она предназначена? Какие системы отсчёта используют в физике? Что является общим для всех инерциальных систем? Одинаковы ли координаты тела в двух разных ИСО?

Далее по учебнику определяют физическое содержание принципа относительности, на примерах рассматривают инвариантные и относительные величины.

III. Домашнее задание: § 25*, 26*.

Урок 10*. Обобщающее повторение. Самостоятельная работа

Задачи урока: объединить изученные законы в систему представлений о причинах механического движения, систематизировать известные знания; продолжить формирование умений выделять и описывать явления.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и обобщение изученного	20—25	Работа с таблицей. Беседа. Коллективное решение задач
II. Самостоятельная работа	20	Решение задач. Контроль знаний
III. Домашнее задание	1	Запись в тетради

I. Систематизация знаний о законах Ньютона может быть организована следующим образом:

1. У доски решают типичные задачи.

1. Груз массой $0,5\text{ кг}$ за нить поднимают вертикально вверх с ускорением 1 м/с^2 . Вычислите модуль силы, действующей вертикально вверх.

2. С каким ускорением движется система тел, изображённая на рисунке 34? Силой трения можно пренебречь.

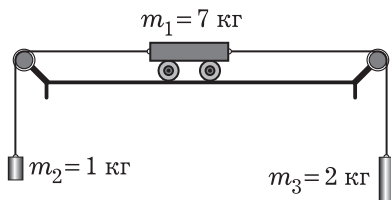


Рис. 34

2. С помощью фронтальной беседы повторяют теоретический материал. Организуют работу с таблицей 5: отдельные элементы повторяют, другие (формулы, рисунки) заполняют; заполнение некоторых граф (последняя графа) предлагается на дом.

Вопросы для обсуждения: движение каких физических объектов описывают законы Ньютона? Почему законы Ньютона применимы лишь для материальной точки? (Ответ. Модель позволяет просто и точно описать движение тела во многих случаях.) Почему законы динамики используют при описании движения в ИСО? Какие два вида движений на основе динамики можно выделить? (Ответ. Инерциальное движение и взаимодействие.) Каков закон инерциального движения? Какими законами описывают взаимодействие тел? Можно ли взаимодействие тел описать лишь вторым законом Ньютона? Приведите примеры взаимодействия тел, действия одного тела на другое.

При перенесении данных таблицы 5 в тетрадь используют сокращения, условные обозначения, например при формулировке третьего закона Ньютона. У доски может работать один из школьников.

II. Самостоятельная работа (при проведении возможна консультация учителя).

Вариант 1

1. С каким ускорением движется тело массой 3 кг, если на него действует сила 1 Н? Чему равна скорость тела в конце третьей секунды?
2. Изобразите силы, которые действуют на тела (рис. 35). Выделите силы взаимодействия.

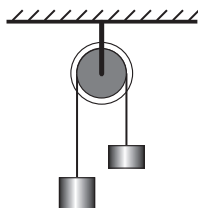
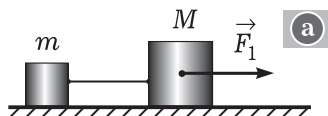


Рис. 35

Вариант 2

1. Определите массу тела, которому сила 1 Н сообщает ускорение $0,5 \text{ м/с}^2$. Чему равна скорость тела в конце третьей секунды?

Законы Ньютона

	Первый закон	Второй закон	Третий закон
Изучаемая физическая система	Макроскопическое тело	Макроскопическое тело	Система двух тел
Модель системы	Материальная точка (м. т.)	Материальная точка	Система двух точек
Система отсчёта	Определение ИСО	Инерциальная	Инерциальная
Описываемое явление	Равномерное прямолинейное движение	Движение тела с постоянным ускорением	Ускоренное движение взаимодействующих тел
Формулировка и формула закона	Тело (м. т.) находится в покое или равномерном прямолинейном движении, если на него не действуют другие тела (м. т.)	$m\vec{a} = \vec{F}$	Силы, приложенные к взаимодействующим телам (м. т.), равны по модулю, противоположны по направлению, одной природы и приложены к разным телам (м. т.): $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$
Рисунок типичного явления	$\vec{v} = \text{const}$ 		
Примеры проявления в природе	Движение спутника вдали от планет	Любое ускоренное движение: падение тела на землю, торможение автомобиля и т. п.	Движение двух взаимодействующих тел: Луны и Земли, шаров при ударе и др.

2. Определите взаимодействующие тела, изобразите пары соответствующих сил (рис. 36).

III. Домашнее задание: П., № 134.

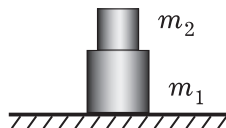


Рис. 36

ГЛАВА III. ЗАКОНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕХАНИКЕ

Напомним, что механика изучает движение макроскопических тел. Причиной всех движений, кроме «идеального» инерциального движения, являются действия или взаимодействия тел. Взаимодействия тел приводят к ускоренному движению или/и к деформациям. В первом случае тело моделируют материальной точкой, во втором — упругим телом.

В механике изучают взаимодействия на расстоянии и при соприкосновении. К первым относят гравитационное взаимодействие тел и электрическое взаимодействие зарядов, ко вторым — упругое взаимодействие тела и опоры (подвеса), сопротивление при относительном движении тел, тел в жидкости или газе. Каждый вид взаимодействия (или действия) описывается силами, которые по-своему зависят от расстояния между телами, от скоростей движения и т. д. Каковы законы действия сил? — *основной вопрос* темы.

Почему так важно знать, как изменяются силы, характеризующие те или иные действия? По нашему мнению, точный ответ таков: «В трёх законах Ньютон выделил то, что не зависит от конкретного вида сил, поэтому они образуют только пустую схему механики как научной теории. Физическая теория возникает из этой схемы, если выделить определённый круг явлений и установить закон сил, управляющих ими» (Кобзарев И. Ю. Ньютон и его время. — М. : Знание, 1978. — С. 45). В учебнике встречается выражение «силы в природе». Учителю надо понимать, что это просто распространённое физическое выражение, так как в учебнике понятия «сила» и «взаимодействие» практически отождествляются. В методике эти понятия разделяются.

В конце изучения темы школьники должны уметь выделять конкретные взаимодействия тел, определять их природу, характеризовать их физическими величинами и законами, приводить примеры явлений, обусловленных изучаемыми взаимодействиями. Для развития школьников немаловажным является осознанное овладение методами научного познания (наблюдение, планирование эксперимента, построение гипотез и др.), совершенствование умения выражать мысли вслух, овладение такими приёмами мышления, как анализ, синтез, абстрагирование.

Урок 1. Виды взаимодействий и виды сил. Сила упругости. Закон Гука

Задачи урока: познакомить с видами взаимодействий в природе и видами сил в механике; изучить действия деформированных тел и описать упругие деформации силой упругости и законом Гука, выяснить природу силы упругости; сформировать умения вычислять и измерять силу упругости; усвоить логику научного познания — выделение явления, его описание.

Для эффективного решения задач формирования мировоззрения необходимо постоянно выяснять причины явлений, их связи и др.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка учебных проблем урока. Мотивация деятельности	4—5	Беседа по вопросам. Сообщение учителя
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Рассказ. Постановка и обсуждение опытов. Работа с учебником
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5—6	Ответы на вопросы. Выделение главного

Методическое отступление. Силу упругости можно изучать и после рассмотрения гравитационной силы. Но предлагаемый вариант изучения имеет ряд преимуществ: а) знание закона Гука даёт нам возможность осознанно использовать прибор для измерения других сил; б) этот материал выгоден для начала темы — конкретный и традиционный, с возможностью проведения фронтального эксперимента.

I. Актуализация знаний, создание познавательной мотивации, знакомство с целями изучения материала обеспечиваются при проведении *беседы по вопросам*: в чём состоит основная задача механики? Как она решается экспериментальным методом? (Ответ. Измерением координат и времени.) Удобно ли это? Как она решается теоретическим методом? (Ответ. Например, для равноускоренного движения надо измерить начальные координаты и скорость, измерить или вычислить по итогам измерений ускорение, использовать формулы кинематики.) Как можно определить ускорение? Можно ли использовать второй закон Ньютона? Всегда ли удобно измерять действующую силу? Как её можно определить теоретически? (На этот вопрос пока нет ответа.) Что же нужно знать для теоретического вычисления ускорения в динамике? (Ответ. Знать, т. е. измерить или рассчитать, массу, иметь формулу для расчёта силы.)

II. Итак, от чего зависят силы взаимодействия тел? Для решения этой *учебной проблемы* надо сначала рассмотреть *виды взаимодействия тел*.

1. На доске подготовлена таблица (табл. 6). Учитель демонстрирует примеры взаимодействия тел каждого вида, кратко раскрывает и обосновывает их природу. **Вывод:** взаимодействия тел бывают разные, и силы в разных случаях зависят от разных параметров; отсюда задача — надо эту зависимость изучать. Кроме отображённых в таблице фундаментальных взаимодействий, в физике микромира существуют ещё два типа взаимодействий — сильное (ядерное) и слабое.

Таблица 6

Виды и проявления механических взаимодействий

Вид взаимодействия	Природа взаимодействия	
	гравитационная	электромагнитная
На расстоянии	Гравитационное притяжение любых тел, имеющих массу	Притяжение и отталкивание зарядов
При соприкосновении	Гравитационное притяжение тел	1. Отталкивание упруго деформируемых тел. 2. Сопротивление движению при относительном перемещении тел

2. Используя опорный конспект (табл. 7), учитель рассказывает о силе упругости. Напоминаем, что усвоение знаний не автоматически и не напрямую связано с их сообщением. Поэтому рассказ должен быть кратким, логичным, опираться на чувственную наглядность (рисунки, схемы). Ниже приводится последовательность рассмотрения материала.

Тела могут изменять форму или размеры. Деформируемое тело (с малой упругой деформацией) действует на прикоснувшееся к нему тело. Это можно наблюдать на опытах. *Опыты:* а) изгиб металлической линейки и её действие на руку; б) растяжение и сжатие пружины и её действие на груз или тело.

Вопросы для обсуждения: как доказать, что деформируемое тело действует на другие тела? Как определить силу упругости? Зависит ли сила упругости от деформации?

Какова природа силы упругости — следующая учебная проблема. Последовательность рассказа: 1) тела состоят из частиц, например из атомов, атомы состоят из заряженных частиц — электронов и ядер атомов; 2) в обычном состоянии силы притяжения и отталкивания заряженных частиц уравнивают друг друга; 3) при сжатии расстояние между частицами уменьшается, возрастают силы отталкивания, при растяжении, на-

Сила упругости

Факты

- Явление деформации тел — растяжение, сжатие, изгиб, кручение
- Действие деформированного тела на другие тела

Модель

- Сила упругости $F_{\text{упр}}$ как характеристика действия деформированного тела
- Природа силы упругости — изменение электрического взаимодействия частиц тела



- Закон Гука для малых деформаций: $F_x = -kx$
- Жёсткость k — постоянная величина для данного тела; зависит от материала, формы тела и др.

Следствия

- Виды сил упругости: сила реакции опоры или подвеса, вес тела
- Роль сил упругости в природе, технике, быту
- Пружинные весы
- Расчёт деформаций

оборот, несколько возрастают силы притяжения. Вот почему деформируемое тело действует на другие тела. Причина действия — электромагнитное взаимодействие заряженных частиц, из которых состоят тела.

От чего зависит сила упругости — решение этой *учебной проблемы* обеспечивается с помощью эксперимента. *Опыт:* к пружине последовательно подвешивают грузы массами 100 г и 200 г, измеряют удлинение и определяют силу упругости, на доске ученик строит график, учитель записывает формулу закона для силы: $F = kx$.

Вопросы для организации беседы: как направлена сила упругости пружины при её растяжении? Куда она приложена? Изменяется ли сила упругости при изменении удлинения пружины? Как зависит значение силы F от значения удлинения x ?

От чего зависит жёсткость k ? (Ответ: от материала, от формы тела.) Иллюстрация: две пружины, одинаковые грузы, разное удлинение, разная жёсткость.

3. Большинство тел в окружающем нас мире соприкасается между собой: книга лежит на столе, ученик сидит на стуле... При этом возникают деформации, действует сила упругости (рис. 37). Дается определение силы реакции опоры (подвеса), с помощью рисунков выясняется, куда приложена и направлена эта сила, какое она имеет значение.

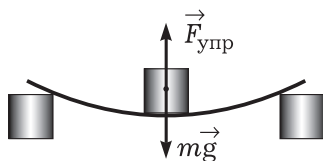


Рис. 37

4. Фронтально организуется решение экспериментальной задачи: докажете, выполняется ли для резинки закон Гука.

Объект исследования: резинка длиной 15 см.

Оборудование: резинка, динамометр и линейка.

Отчёт: построение графика и вывод, ответы на вопросы.

III. *Вопросы для подведения итогов урока:* много ли видов сил в природе? (Ответ. В механике изучают взаимодействия всего двух типов — электромагнитное и гравитационное. Они проявляются по-разному в разных случаях на расстоянии и при соприкосновении тел. В точном смысле вопроса сил в природе нет.) Какова природа взаимодействия двух шаров при их упругом столкновении? Охарактеризуйте взаимодействие книги и стола.

Домашнее задание: § 27, 34; П., № 158; индивидуально — изготовить простейший динамометр.

Урок 2. Лабораторная работа «Измерение жёсткости пружины»

Задачи урока: сформировать умения проводить опыты по деформации растяжения, описывать её с помощью закона Гука, выяснять причины и определять погрешности измерения.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка учебных проблем урока. Мотивация деятельности	4—5	Беседа по вопросам. Сообщение учителя
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Рассказ. Постановка и обсуждение опытов. Работа с учебником
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5—6	Ответы на вопросы. Выделение главного

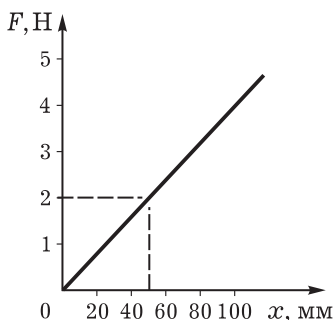


Рис. 38

I. Учитель сообщает *порядок работы*: изучение (и использование) инструкции (выдается на парту), проведение опытов и оформление результатов. *Порядок оформления работы*: название; оборудование; краткая теория с рисунком опыта, названием явления, формулой закона и расчётной формулой; таблица результатов, вычисление погрешностей и вывод, решение контрольных заданий.

Вопросы для повторения теории: деформация какого физического объекта (тела) изучается в работе? Как называется эта деформация? Как можно измерить силу упругости пружины? Что характеризует жёсткость? Что нужно знать для её определения? Каковы причины погрешностей в опыте (демонстрируется опыт)?

II. Приведём пример расчётов.

Номер опыта	m , кг	F , Н	x , мм
1	0,100	1	24
2	0,200	2	48
3	0,300	3	72
4	0,400	4	97

Относительная погрешность при вычислении жёсткости равна:

$$\varepsilon = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta x}{x} = \frac{0,002 \text{ кг}}{0,100 \text{ кг}} + \frac{0,2 \text{ м/с}^2}{10 \text{ м/с}^2} + \frac{1 \text{ мм}}{24 \text{ мм}} \approx 0,08.$$

По графику среднее значение жёсткости пружины равно 42 Н/м (рис. 38). Отсюда абсолютная погрешность вычисляется следующим образом:

$$\Delta k = k_{\text{ср}} \varepsilon = 3 \text{ Н/м}.$$

В итоге получаем ответ:

$$k = k_{\text{ср}} \pm \Delta k = (42 \pm 3) \text{ Н/м.}$$

III. Подведение итогов.

Контрольные задания

Вариант 1

1. От чего зависит жёсткость пружины? Изменяются ли результаты опытов, если взять две одинаковые пружины, соединённые параллельно?
2. С помощью графика (см. рис. 38) предскажите удлинение пружины при действии силы 1,5 Н. Подтверждает ли опыт это теоретическое предсказание? (Выполните опыт и запишите показания.)

Вариант 2

1. Каковы причины погрешностей при постановке опытов? Как можно уменьшить погрешности? (Перечислите, рядом укажите приём уменьшения.)
2. Дополнительно к оборудованию дана пружина. Как оценить жёсткость дополнительной пружины: больше она или нет? Как это сделать проще всего?

Домашнее задание: П., № 157; индивидуально — экспериментально определить жёсткость пружины бытового безмена.

Урок 3*. Решение задач (резерв учителя)

Задачи для урока подобрать сравнительно легко. В частности, рекомендуем решить некоторые типовые задачи.

1. Определите, одинакова ли жёсткость пружин, изображённых на рисунке 39.
2. Почему наблюдается неравномерное растяжение подвешенной пружины, изображённой на рисунке 40?
3. Экспериментально доказите, что жёсткость двух одинаковых и последовательно соединённых пружин отличается от жёсткости одной пружины.
4. С каким ускорением будет двигаться тело, изображённое на рисунке 41? Силой трения можно пренебречь.

Домашнее задание: § 35*.

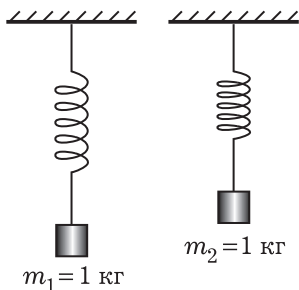


Рис. 39

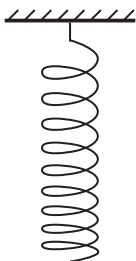


Рис. 40

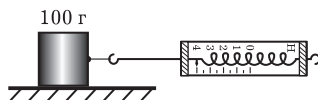


Рис. 41

Урок 4. Закон всемирного тяготения

Задачи урока: изучить гравитационное взаимодействие тел и закон всемирного тяготения; ознакомить учащихся с логикой научного познания при открытии закона всемирного тяготения.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	5	Беседа по вопросам
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Беседа. Работа с учебником
III. Совершенствование знаний	15—20	Решение задач. Повторение теории
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. Для естественного продолжения разговора о силах взаимодействия тел фронтально повторяют вопрос о силе упругости (см. табл. 7). *Вопросы:* какое действие описывает сила упругости? (Ответ. Действие деформированного тела.) При каких условиях возникает это действие? Можно ли силой упругости описать сразу два действия при взаимодействии тел? (Ответ. Да, с учётом третьего закона Ньютона.) О чём говорит закон Гука?

II. Сегодня на уроке изучаем новый вид взаимодействия — гравитационное взаимодействие.

1. **Об истории открытия.** С давних пор людям были известны такие явления, как свободное падение тел на Землю, движение Луны вокруг Земли. Но осознание явления тяготения, тем более открытие закона, заняло длительное время. Особенно большой вклад внесли И. Кеплер, Р. Гук. Последний в 1674 г. писал: «Все тела... обнаруживают силу притяжения или тяжести, направленную к их центру». Позднее он высказал предположение об обратно пропорциональной зависимости модуля силы от расстояния между телами (см. подробнее: Спасский Б. И. История физики. Ч. 1. — М.: Высшая школа, 1977. — С. 140—144).

2. **Открытие.** Ньютон первым теоретически доказал, что между любыми телами существует взаимодействие — взаимное притяжение, нашёл точный количественный закон и успешно применил его для объяснения движения Луны и планет. Таким образом, предположения, гипотезы, догадки предшественников у Ньютона приобрели форму научной теории. Он писал: «Тяготение существует ко всем телам вообще и пропорционально массе каждого из них... все планеты тяготеют друг к другу... тяготение к каждой из них в отдельности обратно пропорционально квадрату расстояния от места до центра этой планеты...» (Хрестоматия, с. 35).

Учитель записывает формулу закона: $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$.

Вопросы для первичного закрепления материала: в чём выражается гравитационное взаимодействие тел? От чего зависит сила, характеризующая взаимное притяжение тел? Как доказать наличие взаимного притяжения Земли и, например, книги? (Ответ. Тело, предоставленное самому себе, движется с ускорением вниз. Это можно доказать экспериментально. Значит, на него действует Земля. Но согласно третьему закону динамики и тело с такой же силой действует на Землю. Проблема — как зафиксировать это действие?)

3. Углубление знаний происходит при решении *проблемы*: как обосновать зависимость силы всемирного тяготения от масс взаимодействующих тел и от расстояния между ними? Для поиска ответа организуется работа с учебником (см. § 28). В зависимости от подготовки класса материал рассматривают в разном объёме.

Вопросы для организации беседы: как Ньютон объяснял факт одинакового ускорения свободного падения для всех тел? Как доказать, что сила тяжести, действующая на книгу, зависит от массы Земли? Как Ньютон объяснял зависимость силы всемирного тяготения от квадрата расстояния между телами? Одинаково ли ускорение свободного падения у поверхности Земли и на вершине Эвереста? (См. Справочник.) Почему Ньютон рассматривал взаимодействие Земли и Луны? Как с помощью эксперимента доказать, что сила всемирного тяготения зависит от массы тела (рис. 42)?

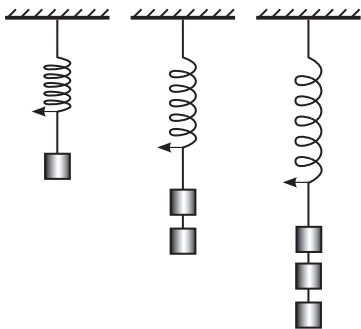


Рис. 42

4. **Смысл и значение величины G .** В формулу закона всемирного тяготения входит гравитационная постоянная G . О чём она «говорит»? Как её определить? (Следует подчеркнуть, что значение G можно определить только из опыта.) Из формулы закона получают выражение для расчёта G , раскрывают физический смысл этой величины, кратко сообщают об опыте Генри Кавендиша (1731—1810), приводят значение постоянной и интерпретируют его (табл. 8). Значение гравитационной постоянной малó, так как мала сила притяжения двух тел массой по 1 кг на расстоянии 1 м, что и объясняет «незаметность» силы притяжения у окружающих нас тел. Сила заметна, если масса по крайней мере одного из тел велика! (Желательно сообщить данные взаимодействия двух книг и т. п.)

III. Отработка знаний продолжается при решении *задач*, например:

Можно ли с помощью закона всемирного тяготения рассчитать массу Солнца?

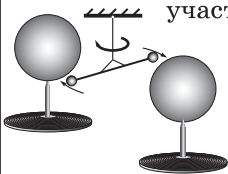
Дополнительные вопросы: что для этого надо знать? Можно ли эти данные получить экспериментально? Радиус орбиты Земли — $1,5 \cdot 10^{11}$ м, период — $3,1 \cdot 10^7$ с.

Сила всемирного тяготения

Факты

- Явления взаимного притяжения любых тел на расстоянии — Луны и Земли, яблока и Земли и др.
- Действие Земли на тела; сила тяжести $F_T = mg$ как характеристика этого действия

Модель



- **Универсальность** гравитационного взаимодействия в природе — все тела и частицы участвуют в нём
- **Модель взаимодействия:** на расстоянии между телами мгновенно, без посредников
- Закон всемирного притяжения — гениальное открытие Ньютона (1667):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r_2^2}$$

- **Экспериментальное определение G** — опыты Кавендиша (1798) \Rightarrow метод крутильных весов; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$

Следствия

- Объяснение природы движения планет. Выяснение причины приливов на Земле. Понимание «незаметности» силы всемирного тяготения для обычных тел
- Проблема: есть ли границы применимости закона всемирного тяготения?

В заключение урока обсуждают *вопросы*: почему закон в прямом смысле применим для случая взаимодействия материальных точек? А как быть в противном случае? (Ответ. Силу всемирного тяготения можно вычислить в любом случае, но сделать это сложнее.) Наблюдается ли притяжение тел при их

соприкосновении? Как осуществляется гравитационное взаимодействие? (Ответ. Ньютон на этот вопрос ответа не знал, но проблему понимал. Он писал: «Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю». Сейчас в физике принято, что взаимодействие осуществляется с помощью гравитационного поля.) Приведите примеры явлений, за происхождение которых ответственно гравитационное притяжение тел.

IV. Домашнее задание: § 28; упр. на с. 95.

Урок 5. Сила тяжести и вес тела. Невесомость

Задачи урока: совершенствовать знания о гравитационном взаимодействии; ввести физические величины «сила тяжести», «вес тела»; сформировать представление о явлении невесомости; сформировать умения выделять действие Земли на тела и характеризовать это действие.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка учебных проблем урока. Мотивация деятельности	4—5	Беседа по вопросам. Сообщение учителя
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Рассказ. Постановка и обсуждение опытов. Работа с учебником
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5—6	Ответы на вопросы. Выделение главного

I. Класс работает по двум вариантам. По *первому варианту* воспроизводят теоретический материал в форме опорного конспекта (записи в тетрадях, подобные таблице 7). По *второму варианту* письменно отвечают на *вопросы*: как изменится сила притяжения между двумя телами, если массу одного из них увеличить в два раза? Ответ обоснуйте. Как определить гравитационную постоянную? Каков её смысл? Существует ли гравитационное притяжение книг в портфеле? Можно ли это проверить экспериментально? Есть ли границы применимости закона всемирного тяготения? Ответ поясните.

II. Для постановки *учебной проблемы* обсуждают *вопросы*: какие примеры гравитационного взаимодействия тел можно привести? Какое из гравитационных взаимодействий в условиях Земли имеет основное значение? Почему? (Ответ. Это взаимодействие Земли и любого другого тела. В условиях Земли только сама Земля имеет достаточно большую массу, т. е. лишь она действует на тела с заметной силой притяжения.) Действует ли

тело, например мяч, на Землю? Существенно ли для Земли такое (или подобное) действие?

Итак, основные *вопросы* нового материала: как определяется сила, характеризующая действие Земли на тело? Как её проще вычислить? От чего она зависит?

1. Изучение нового материала продолжается в беседе по *вопросам*: как на основе закона всемирного тяготения определить силу действия Земли на тело, т. е. силу тяжести? (Запись формулы на доске.) От чего зависит эта сила? (Ответ. От массы тела, от расстояния до центра Земли.) А от массы Земли? (Ответ. Да, зависит, но масса Земли — постоянная величина, поэтому...) Можно ли определить силу тяжести на основе второго закона Ньютона? На доске записывают формулы, на основе их сравнения получают выражение для ускорения свободного падения:

$$\left. \begin{aligned} F &= G \frac{mM}{R^2} \\ F &= mg \end{aligned} \right| \quad mg = G \frac{mM}{R^2} \Rightarrow g = G \frac{M}{R^2}.$$

Какой новый **вывод** можно сделать из полученного выражения? (Ответ. Ускорение свободного падения непостоянно, зависит от высоты нахождения тела над Землёй. По возможности используется таблица из Справочника.) Почему на небольших высотах над Землёй ускорение свободного падения считают постоянным?

2. На зависимости $F = mg$, или $m = F/g$, основан **метод измерения массы тела**.

Экспериментальное задание: проградуйровать динамометр в качестве пружинных весов.

Оборудование: динамометр (его шкала закрыта), набор грузов по механике, линейка, тело неизвестной массы. *Порядок выполнения задания* обсуждается по *вопросам*: для чего предназначен динамометр? Как с его помощью измерить силу тяжести?

Выполняют действия: а) подвешивая к динамометру последовательно один, два, четыре груза массой по 100 г, отмечают показания; б) расстояние между отметками делят на пять равных частей (*вопрос*: почему это возможно?); в) с помощью полученного прибора измеряют массу предлагаемого тела.

Контрольные вопросы: каковы границы возможностей данного прибора? (Ответ. Можно градуировать пружину лишь в пределах упругой деформации.) Можно ли без проведения опытов шкалу динамометра переделать для измерения массы? Одинаков ли принцип работы рычажных и пружинных весов? Что таким образом мы измеряем: инертную или гравитационную массу?

3. Фактически происходит повторение и углубление знаний о весе тела. Используется беседа с постановкой опыта, работа с рисунками. Какое действие связано с понятием веса тела, как определяется вес, какова природа взаимодействия тела и опоры (подвеса) — таковы *учебные проблемы* этого этапа урока.

Демонстрируется *опыт*: тело подвешено на пружине. В тетрадах и на доске выполняется рисунок (рис. 43).

Вопросы для организации беседы: какие тела действуют на деревянный брусок? (О т в е т. Земля, пружина.) Если одностороннего действия в природе нет, то на какие тела действует брусок? (О т в е т. На Землю, на пружину.) Почему возможно действие бруска на пружину? (О т в е т. Должно выполняться условие: притяжение Земли...) К чему приводит это действие? (О т в е т. К деформации пружины.) Можно ли это доказать? Как можно охарактеризовать силу, с которой пружина действует на брусок? Чему, с учётом третьего закона Ньютона, равна сила, с которой брусок действует на пружину? (О т в е т. Эта сила равна силе упругости деформированной пружины, противоположно направлена...)

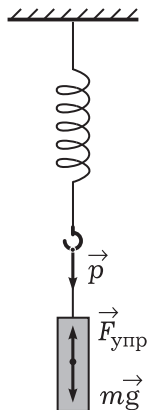


Рис. 43

Какова природа действия тела на подвес? Демонстрируется *опыт* по наблюдению деформации подвешенного на пружину тела. У с л о в и е: подобрать тело, деформация которого заметна. **Вывод**: тело действует на опору или подвес; природа действия — деформация самого тела; действие характеризуется силой упругости; она равна по модулю силе упругости деформированного подвеса или опоры. Рассмотренная сила получила название **вес тела**.

4. Невесомость. Организуется работа с текстом учебника (см. § 33).

III. Решение задачи: П., № 151.

IV. При подведении итогов повторяют *вопросы*: что такое сила тяжести? Как её можно теоретически определить? Как её можно измерить? Будет ли на человека, находящегося на Луне, действовать сила тяжести? На все ли тела действует сила тяжести? Чем различаются сила тяжести и вес тела?

Домашнее задание: § 29*, 33; П., № 140, 141.

Урок 6*. Сила тяжести на других планетах.

Решение задач

Задачи урока: сформировать умения выделять гравитационное взаимодействие тел, описывать его с помощью физических величин и законов.

I. Предлагаем два варианта повторения и контроля ранее изученного материала. *Первый вариант* аналогичен варианту проведения предыдущего урока: одна часть класса воспроизводит опорный конспект, другая отвечает на вопросы диктанта.

Второй вариант. Несколько школьников письменно выполняют задания: а) измерить массу тела, имея пружину, набор грузов, линейку; в отчёте выполнить рисунок с указанием сил; б) доказать, что на высоте 1600 км сила тяжести меньше на ..., чем у поверхности Земли; в) решить задачу: П., № 146.

С классом организуют фронтальное повторение материала, при этом используют учебник, проверяют записи в тетрадях. *Вопросы:* какие тела участвуют в гравитационном взаимодействии? Взаимодействие каких тел незаметно? Как определяется сила всемирного тяготения? Какое действие описывает сила тяжести? От чего она зависит? Как меняется сила тяжести при удалении тела от Земли? Можно ли утверждать, что Луна свободно падает?

II. Что позволяют нам получать изученные законы для силы упругости, силы всемирного тяготения, силы тяжести? Для ответа обратимся к решению задач.

1. Сначала решают задачу на определение силы тяжести на Марсе (см. с. 97 учебника).

2. Далее решают типичные задачи: а) на закон всемирного тяготения — П., № 142, 143; б) на вес и явление невесомости — П., № 149, 150, 154.

3. Выполняют экспериментальное задание: определить центр тяжести плоской фигуры (фигура выдаётся).

Оборудование: подвес (иголка и т. п.), отвес, линейка.

Сначала учитель даёт определение центра тяжести, показывает и объясняет метод его нахождения. Сила тяжести, как и другие силы, имеет точку приложения. Её называют **центром тяжести** тела. Очевидно, что отвесная линия проходит через центр тяжести (рис. 44). Если дважды при разных точках подвеса, на-

пример при точках *A* и *B*, определить направление отвеса, то их пересечение даст точку центра тяжести.

Дополнительные вопросы: изменится ли центр тяжести при изменении точки подвеса? Можно ли указанным способом определить центр тяжести пространственной фигуры (тела)? Может ли быть центр тяжести вне тела?

III. Учитель предлагает выделить главное при обсуждении *вопросов*: какое действие характеризует вес тела? Куда приложена сила веса ученика, стоящего у доски? Какова природа силы «вес тела»? Как определить вес тела?

Домашнее задание: § 29*, 30*; П., № 148. Индивидуально предлагается задание: разработать проект, как с помощью динамометра определить вес тела, если он заведомо больше предела измерений динамометра; изучить, как можно определить центр тяжести объёмного тела, например стула.

Урок 7*. Первая космическая скорость

I. Фронтальное повторение закона всемирного тяготения.

II. Самостоятельно по учебнику школьники получают выражение для первой космической скорости. *Вопросы* для коллек-

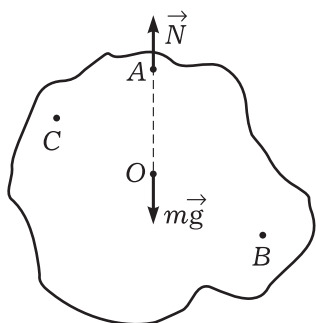


Рис. 44

тивного обсуждения: от чего зависит значение первой космической скорости? Может ли она в условиях Земли быть больше 8 км/с? (См. вопросы на с. 101 учебника.)

III. Решение задач (см. § 32* учебника).

IV. Домашнее задание: § 31*, 32*; упр. на с. 104 (ЕГЭ).

Урок 8. Сила трения

Задачи урока: изучить явление трения; ввести средства описания трения — силу трения, коэффициент трения; сформировать умения выделять и описывать явление трения.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10	Опрос. Решение задач
II. Изучение и отработка нового материала	25—30	Рассказ. Постановка и обсуждение опытов
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Ответы на вопросы

I. У доски один из школьников готовит конспект о весе тела, затем рассказывает материал учителю. Класс по вариантам решает задачи, например: П., № 152, 153.

II. Среди окружающих нас механических явлений важное место занимает явление трения. Шаг шагнул — трение, машина тормозит — трение, мел скрипит по доске — трение.

1. Что же это за явление — трение? Какова природа (причина) трения? С помощью эксперимента решается *учебная проблема* — определение явления (рис. 45).

Вопросы для организации беседы: почему изменяется скорость тела после толчка? Какова причина изменения характера движения бруска? (Ответ. Действие поверхности.) Почему это действие возможно? В чём выражается это действие? (Ответ. В сопротивлении движению.)

Вывод: сопротивление движению одного тела по поверхности другого получило название **трение скольжения**.

2. Как описать трение скольжения — следующая *учебная проблема* урока. Для характеристики действия поверхности на движущийся брусок вводится сила — **сила трения скольжения**. Выполняя рисунок 46, повторяют *вопросы*: со стороны како-

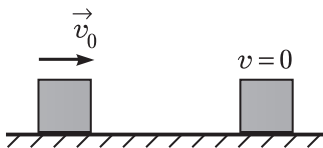


Рис. 45

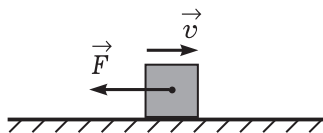


Рис. 46

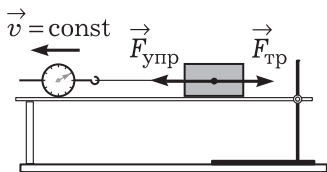


Рис. 47

Как измерить силу трения скольжения? Учитель с помощью эксперимента знакомит с методом измерения силы (рис. 47). Важно подчеркнуть, что во многих случаях теоретически рассчитать силу трения сложно, проще определить с помощью эксперимента. *Вопросы:* какую силу показывает динамометр? (Ответ. Силу упругости.) Почему можно утверждать, что он измеряет силу трения скольжения?

От чего зависит сила трения скольжения? На этот вопрос школьники самостоятельно ищут ответ с помощью эксперимента, для которого требуется следующее оборудование: трибометр, динамометр, брусок, набор грузов, неотшлифованная дощечка и шлифовальная бумага. На доске с помощью заданий определён порядок работы.

Зависит ли сила трения скольжения от площади поверхности соприкасающихся тел? (Необходимо при двух положениях бруска измерить и сравнить силы трения скольжения.)

Зависит ли сила трения скольжения от силы нормального давления? *Дополнительные вопросы:* изменится ли сила трения скольжения, если трибометр расположить под углом? Почему?

Зависит ли сила трения скольжения от состояния поверхностей, от материала поверхностей? (Опыт в демонстрационном варианте может поставить один из школьников. При обсуждении результатов учитель вводит понятие о **коэффициенте трения**, школьники знакомятся с таблицей — см. Справочник, с. 66.)

Общий **вывод** формулирует учитель: сила трения скольжения зависит от силы нормального давления (или силы реакции опоры N), от состояния и вида поверхностей (описывается коэффициентом трения скольжения μ) следующим образом: $F = \mu N$.

3. Существует ещё несколько разновидностей трения: трение покоя, трение качения, жидкое трение (при относительном движении тела и жидкости, газа). Рассмотрим особенности этих явлений.

Трение покоя. Демонстрируется *опыт* (рис. 48). *Вопросы для обсуждения:* почему тело не движется под действием силы упругости? (Ответ. Поверхность трибометра оказывает сопротивление... Есть сопротивление движению, есть действие поверхности, есть явление трения. В данном случае — трение покоя.)

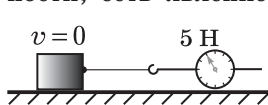


Рис. 48

Как определить направление силы трения покоя? Как её измерить? (Ответ. При разном значении силы упругости, т. е. действии со стороны динамометра, получается разное значение силы трения по-

го объекта действует сила трения скольжения на брусок? Как она направлена? Действует ли сила трения со стороны бруска на поверхность? (Ответ. Да, по третьему закону Ньютона.)

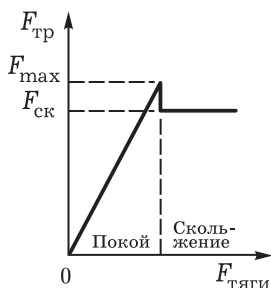


Рис. 49

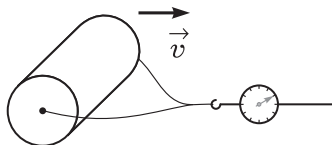


Рис. 50

коя. **Вывод:** сила трения покоя непостоянна, она увеличивается вместе с увеличением внешней силы, силы тяги.) Существует ли предел увеличения силы трения покоя при увеличении силы тяги? (Демонстрируют *опыт*, вводят понятие максимальной силы трения покоя F_{\max} .) От чего зависит максимальная сила трения покоя? (Демонстрируют известный *опыт* с увеличением силы трения покоя при увеличении нормального давления за счёт добавления груза.) Зависит ли F_{\max} от состояния соприкасающихся поверхностей? Учитель комментирует график (рис. 49).

Трение качения. Демонстрируют *опыт* (рис. 50). *Вопросы для обсуждения:* чем отличается трение скольжения от трения качения? (Сначала вращение катка заблокировано — проявляется трение скольжения, затем трение качения; сила трения значительно уменьшается.) От чего может зависеть сила трения качения? (В ходе обсуждения учитель направляет школьников и в итоге подводит к формуле закона для

силы трения качения: $F_k = \mu_k \frac{N}{R}$. Закон сформулировал на основе опытов французский физик Ш. Кулон в 1781 г.; желательно познакомить учащихся со значениями коэффициента трения качения — см., например, Справочник, с. 66.)

Жидкое трение. Учитель обращает внимание на то, что явление трения наблюдается и при движении тела в газах, жидкостях. Демонстрируют простые опыты: падение шарика и листка бумаги, движение шарика в стеклянной трубке с водой.

Вопрос для организации беседы: какие аргументы можно привести для доказательства зависимости силы сопротивления от скорости движения тела? (См. рис. 3.25 учебника.)

4. Каково значение явления трения в природе и технике — следующая *учебная проблема* урока. Приведём план краткого рассказа: а) смазка: масло, воздушные прослойки и т. п.; б) материалы со скользкими поверхностями — фторопласт; в) замена трения скольжения трением качения; г) полезная роль трения — очистка зерна, ременные передачи и т. п.

Для закрепления материала рассматривают *вопросы:* почему в одном случае заводной автомобиль хорошо передвигается,

Сила трения

Факты

- **Явление** взаимодействия двух тел при соприкосновении, которое проявляется в препятствии их относительному перемещению
- **Природа явления** — электромагнитное взаимодействие
- **Виды трения:** внешнее (покоя, скольжения, качения), внутреннее (слои газа или жидкости), сопротивление (движение тела относительно газа или жидкости)



Модель

- Сила трения $F_{\text{тр}}$ как характеристика действия поверхности на тело
- Характер силы трения:
 - а) **зависит** от материала тела и поверхности, смазки, значения N ;
 - б) **не зависит** от S поверхности;
 - в) $F_{\text{тах покоя}}$ больше $F_{\text{скольжения}}$;
 - г) $F_{\text{качения}}$ меньше $F_{\text{скольжения}}$
- **Закон для силы трения** (для случая независимости от скорости): $F_{\text{тр}} = \mu N$
- Коэффициент трения характеризует материал, степень обработки поверхностей; не зависит от N



Следствия

- **Уменьшение трения:** смазка, обработка поверхностей, выбор материала, подшипники качения и скольжения
- **Увеличение трения:** песок на дороге при гололёде, цепи на колёсах, специальные шины, протектор на ботинках и др.
- Расчёт движения тел. Расчёт деформаций

а в другом — плохо? (Ответ. В первом случае — обычная поверхность, во втором — гладкая, натёртая парафином.) Почему мотор автомобиля работает, колёса крутятся, а автомобиль не едет (рис. 51)? **Общий вывод:** явление трения играет важную роль в жизни людей, для учёта и предсказания результатов действия силы трения необходимо знать характеристики трения — закон для силы трения, коэффициент трения в конкретных случаях.

5. При наличии времени желательно решить задачу с техническим содержанием (Низамов И. М. Задачи по физике с техническим содержанием. — М. : Просвещение, 1980. — С. 10—12).

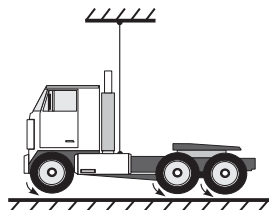


Рис. 51

III. *Подведение итогов* изученного состоит в работе с таблицей 9, при этом повторяют определения физических величин, физический смысл коэффициента трения, приводят примеры явления трения в окружающем нас мире и др.

Домашнее задание: § 36, 37*. Индивидуально рекомендуем предложить выполнить экспериментальное задание: исследовать движение гладкой палки или длинной линейки, лежащей на вытянутых пальцах рук, при сближении рук. Для дополнительного чтения советуем порекомендовать школьникам раздел «Как тормозит автомобиль?» из книги: Хилькевич С. С. Физика вокруг нас. — М. : Наука, 1985. — С. 17.

Урок 9. Лабораторная работа «Измерение коэффициента трения скольжения»

Считаем необходимым проведение *лабораторной работы* в том или ином виде. Можно использовать известные инструкции.

Вопросы для фронтального повторения: в чём состоит явление трения скольжения? Какова основная характеристика трения скольжения двух тел? От чего зависит сила трения? Как можно определить силу трения: рассчитать, измерить? Можно ли непосредственно (прямо) измерить коэффициент трения? Как его можно рассчитать? Как можно измерить силу трения и силу нормального давления?

Варианты **вывода:** полученное значение коэффициента трения с учётом погрешности совпадает с табличным значением, что подтверждает верность теории; причины погрешностей — неточность динамометра, неравномерность движения, недостатки при фиксации показаний.

Контрольные задания

Вариант 1. А. Перечислите способы изменения силы трения скольжения. Б. Какие из них можно продемонстрировать

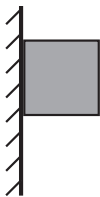


Рис. 52

с данным оборудованием? В. Изобразите силы, действующие на брусок, если он находится в покое (рис. 52).

Вариант 2. А. Изобразите силы, действующие на тело, равномерно скатывающееся с наклонной плоскости. Б. Определите коэффициент трения скользящего тела по поверхности трибометра.

Домашнее задание: П., № 163, 165.

Урок 10*. Обобщение и контроль знаний

Задачи урока: систематизировать знания школьников о силах в механике; сформировать умение решать типичные задачи; развивать умение выражать свои мысли в устной и письменной речи.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение	1—2	Сообщение учителя
II. Обобщение знаний	15—20	Беседа по вопросам. Работа с таблицей
III. Самостоятельная работа	20—25	Решение задач
IV. Домашнее задание	2—3	Сообщение учителя

I. Введение.

II. Систематизация знаний организуется с помощью беседы при использовании таблицы 10 (кодограмма, слайд). *Вопросы:* какие взаимодействия изучаются в механике? Что характеризует сила? На основе какого закона определяется сила? От чего зависит сила тяжести тела? Зависит ли она от массы Земли? Как экспериментально измерить вес тела? Как уменьшить силу трения? Может ли сила трения (вес тела) отвечать за ускоренное движение тела? Какова природа силы, действующей со стороны стола на карандаш?

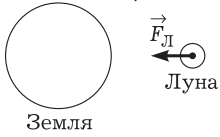
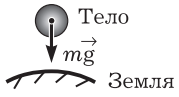
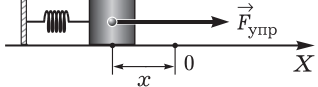
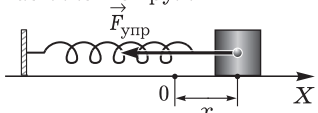
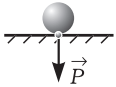
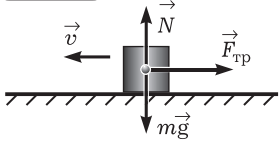
Во время коллективной работы ученики выполняют *индивидуальные задания:* решение домашней задачи, воспроизведение таблицы, демонстрация опыта и др.

III. Самостоятельная работа.

Вариант 1

1. Изобразите все силы, действующие на тело и пружину при измерении веса тела динамометром. Какие силы компенсируют друг друга? Какие силы равны по третьему закону Ньютона?

Силы в механике

Вид силы	Действие, которое описывает сила	Природа	Формула закона для силы
Всемирного тяготения	Действие тел друг на друга, выраженное во взаимном притяжении	Гравитационная	$F_{\text{Л}} = G \frac{m_{\text{З}} \cdot m_{\text{Л}}}{r^2}$ 
Тяжести	Действие Земли на тело, которое проявляется в притяжении тела	Гравитационная	
Упругости	Действие деформированного тела на другие тела	Электромагнитная	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> $F_{\text{упр}} = -kx$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <p>Сжатие пружины</p>  <p>Растяжение пружины</p>  </div>
Вес тела	Действие тела на опору или подвес	Электромагнитная	<p>а) Покой $P = mg$</p>  <p>б) Ускоренное движение опоры с \vec{a}: $P = m(g \pm a)$</p>
Трения	Действие одного тела на другое при соприкосновении и относительном движении	Электромагнитная	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> $F_{\text{тр}} = \mu N$ </div> 

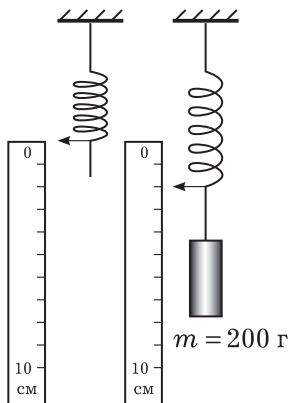


Рис. 53

- Определите ускорение падения тела массой 2 кг, если на него действует сила тяжести 9,8 Н. Какому движению соответствует это ускорение? Является ли оно ускорением свободного падения?

Вариант 2

- Чему равна жёсткость пружины, изображённой на рисунке 53?
- Бревно равномерно перемещают по земле под действием горизонтальной силы 140 Н. Определите вес бревна, если коэффициент трения скольжения равен 0,7. Выполните рисунок, обозначьте силы, действующие на бревно.

Вариант 3 (индивидуально)

- Тело весом 120 ± 1 Н равномерно перемещают по горизонтальной поверхности, действуя силой 54 ± 1 Н. Определите коэффициент трения.
 - Докажите, что жёсткость двух одинаковых параллельно соединённых пружин больше жёсткости отдельно взятой пружины.
- IV. Домашнее задание: упр. на с. 117 (ЕГЭ).

ГЛАВА IV*. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ДИНАМИКИ (ПРАКТИКУМ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ)

Знание законов динамики, т. е. законов Ньютона и законов для сил взаимодействия тел, позволяет теоретически определить кинематические характеристики движения тел, т. е. предсказать их координаты и скорость в любой момент времени. Заметим, что законы динамики позволяют решать и другие задачи механики: определять массы тел, рассчитывать силы и т. д.

На основе законов динамики с помощью экспериментального и теоретического методов решаются разнообразные задачи, что в конечном итоге позволяет объяснить многие явления природы и техники. В зависимости от ресурсов времени количество уроков может быть самым разным (минимум 5—7 уроков). Дело учителя — осуществить выбор, конкретизировать построение уроков.

Отработка и совершенствование умений — важнейшие задачи углублённого изучения физики.

Урок 1*. Математика — язык физики

Задачи урока: систематизировать знания школьников о применении математических операций при решении физических задач; сформировать умения определять направления скорости,

ускорения, действующей силы, находить проекции векторов на оси системы координат.

I. Повторение выражается в заполнении (или изучении) таблицы 11.

II. Освоение материала урока осуществляется в форме беседы при решении конкретных заданий. Цель состоит в том, чтобы показать, что невозможно описать механическое движение тел без использования математики. Какие математические действия с физическими величинами необходимы при описании механического движения — такова *учебная проблема*. Ниже приведён примерный ход урока.

1. Определить координаты тела невозможно без системы отсчёта, составной частью которой является система координат. Система координат даёт нам масштаб измерения. По рисунку на доске устно определяется положение материальной точки в выбранной системе отсчёта.

2. При решении физических задач широко используются операции сложения, вычитания, умножения и деления физических величин. Рассмотрим эти действия при решении задачи.

1. С каким ускорением движется тело массой 3 кг под действием силы, равной 1 Н? Определите скорость тела в конце десятой секунды движения. Оцените, сколько времени может так двигаться тело в земных условиях.

3. В физике используются скалярные и векторные физические величины. Правила действия с ними различны. Рассмотрим пример сложения векторов при определении равнодействующей силы.

2. Будет ли двигаться воз, если лебедь, рак и щука тянут его с силами, изображёнными на рисунке 54?

4. В механике широко используется графическое описание движения тел. Примеры графиков могут быть даны на доске.

5. Используется ли математика при проведении физических измерений? В чём это выражается? Точное или приближённое значение физической величины получают при измерении? Как складываются (умножаются и т. п.) приближённые числа? Для чего необходимо вычисление погрешностей измерения физических величин? (На доске приведён пример расчёта погрешности.)

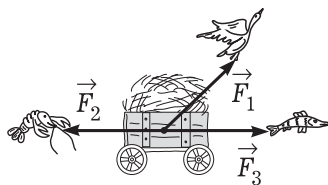


Рис. 54

III. Совершенствование знаний и умений продолжается при решении задач. При этом необходимо устно выделять выполняемые математические действия. Приведём примеры задач.

Определение характеристик движения тел

Характеристика	Метод определения	
	теоретический	экспериментальный
Координата	Использовать уравнения движения: $x = x_0 + v_{0x}t$ $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$	Измерить в системе отсчёта (в момент времени)
Перемещение	$s_x = x - x_0$ $s_y = y - y_0$ $s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$	1. Модуль перемещения измеряется линейкой. 2. Направление — от начала движения к концу
Скорость равномерного движения	$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$	1. Модуль перемещения измеряется линейкой. 2. Время — часами и др.
Ускорение	$\vec{a} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{t}$	Акселерометр
Масса	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} \text{ и др.}$	1. Метод взаимодействия. 2. Взвешивание
Сила упругости	$\vec{F} = m\vec{a}$ $F = -kx$	Динамометр
Сила всемирного тяготения (сила тяжести)	$\vec{F} = m\vec{a}$ $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$	1. Динамометр. 2. Взвешивание. 3. На основе измерения массы и ускорения
Сила трения	$\vec{F} = m\vec{a}$ $F = \mu N$	Динамометр

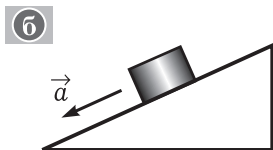
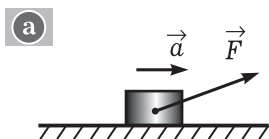


Рис. 55

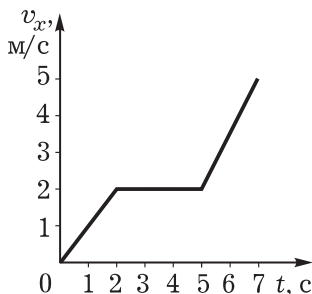


Рис. 57

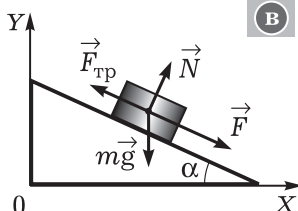
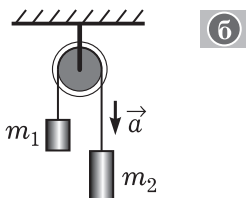
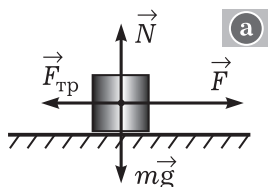


Рис. 56

3. Составьте уравнение второго закона Ньютона для случаев, изображённых на рисунке 55. Определите действующие на тело силы.
4. Получите основное уравнение динамики в проекциях на координатные оси для случаев, изображённых на рисунке 56.
5. По графику зависимости проекции скорости тела массой 1 кг от времени (рис. 57) определите: а) характер движения тела; б) зависимость равнодействующей силы от времени; в) числовые значения ускорения и силы.

IV. Домашнее задание: П., № 133.

Урок 2*. Движение тела под действием силы упругости

I. Двоих-троих школьников приглашают к доске для *опроса*: а) объяснить решение домашней задачи; б) рассказать о законе Гука и выполнить опыт по его экспериментальной проверке; в) решить задачу: определить силы, действующие на книгу, которая лежит на наклонной плоскости (выполнить рисунок, найти проекции сил в выбранной системе отсчёта).

С классом организуют фронтальное повторение по *вопросам*: что называют деформацией? Какие деформации вам

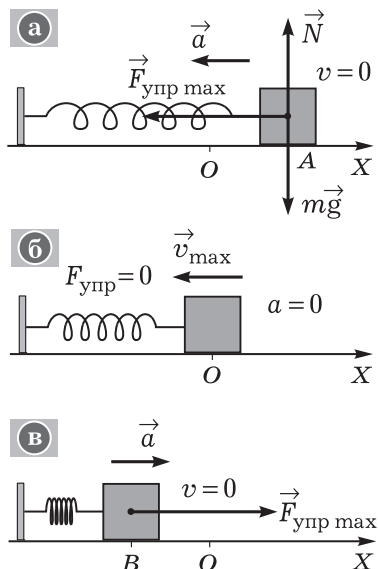


Рис. 58

известны? Какое действие характеризует сила упругости? Какова природа силы упругости? Испытывает ли деформацию стул, если на него садится человек? Как это доказать экспериментально? Куда направлена сила упругости при сжатии ластика пальцами руки? Какая это деформация?

Записи на доске по задачам проверяются быстро, с целью контроля задают один-два вопроса. Закон Гука проверяется по плану: 1) явление; 2) формулировка закона; 3) пояснение величин, входящих в формулу закона; 4) опыт по экспериментальной проверке закона; 5) график и его объяснение; 6) границы применимости закона.

II. Как будет двигаться материальная точка под действием

силы упругости — основная учебная проблема урока.

Ставят *опыт* (рис. 58) и обсуждают *вопросы*: как будет двигаться тело (траектория, скорость, ускорение), если растянутую пружину отпустить? Какие силы действуют на тело? (Рисунок выполняю на доске и в тетрадах.) Как будет двигаться тело от точки *O* к точке *B*, в окрестности точки *B* (рис. 58, в)? Как направлена сила относительно скорости тела на разных этапах движения? Как в целом можно охарактеризовать движение тела под действием силы упругости?

Как записать второй закон динамики для движения данного тела? (Ответ. $ma_x = kx$.) Сможем ли мы, как делали раньше, вычислить ускорение тела? (Ответ. Нет. Можно определить ускорение лишь для данного растяжения пружины. Но так как при движении постоянно изменяется смещение x , то изменяется и ускорение.) Как будет двигаться тело, если сила упругости перпендикулярна начальной скорости? Учитель демонстрирует *опыт* по вращению тела на нити по столу. На доске заранее подготовлен рисунок с обозначением силы упругости, скорости. Обсуждают *вопросы*: как доказать, что на тело со стороны нити действует сила упругости? При каком условии нить действует на тело? Действует ли тело на нить? Изменяется ли ускорение тела при движении по окружности?

III. Подбор задач для самостоятельного решения на усмотрение учителя.

IV. Домашнее задание: II., № 160.

Урок 3*. Движение тела у поверхности Земли

I. Двое школьников письменно восстанавливают решение домашней задачи, класс выполняет *задания физического диктанта*.

1. Определите проекции силы на оси системы координат (дан рисунок).

2. Определите силы, действующие на шарик при его ускоренном движении вверх (дан рисунок).

3. Запишите формулу закона всемирного тяготения.

4. От чего зависит ускорение свободного падения?

5. Запишите и поясните формулу для силы тяжести.

6. Какие силы действуют на книгу, лежащую на столе?

II. Систематизируют знания теории с помощью таблицы 12.

III. Решение задачи.

Сколько времени падает груз с высоты Останкинской телебашни (540 м)? Определите его скорость в момент удара о землю.

Анализ физического явления. Обсуждают *вопросы*: какое физическое явление рассматривается? (Ответ. Свободное падение груза.) Какой случай свободного падения рассматривается?

Что можно сказать о траектории движения груза? Изменяется ли скорость при движении? Изменяется ли ускорение груза? Какова причина ускоренного движения груза? (Ответ. Действие Земли.)

Выполняют рисунок, на котором выделяют начальное, промежуточное и конечное состояния движения груза (рис. 59). Какую систему отсчёта рациональнее выбрать для описания движения груза?

Идея решения. Так как движение груза определено (прямолинейное, равноускоренное) и требуется найти кинематические характеристики движения, то следует использовать соответствующие закономерности (формулы) кинематики.

Решение. Составляем с учётом начальных условий уравнения для координаты и скорости материальной точки. В общем виде сначала имеем

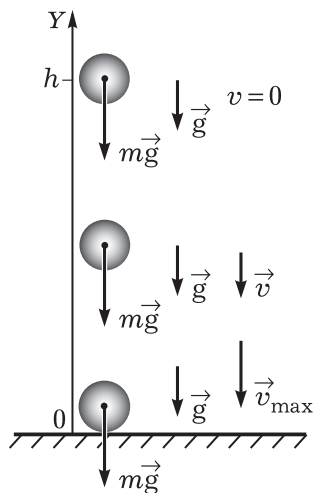


Рис. 59

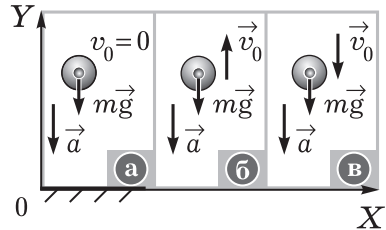
$$\begin{cases} v_y = v_{0y} + g_y t, \\ y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}. \end{cases}$$

Движение тела под действием Земли — свободное падение

I. \vec{v}_0 коллинеарна \vec{F} , траектория — прямая линия

$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const}$$

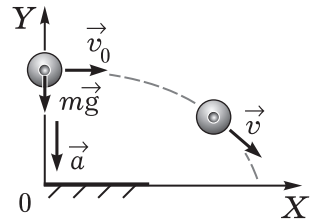
$$\begin{cases} v_y = v_{0y} + g_y t, \\ v_x = 0 \\ \begin{cases} x = x_0 = \text{const}, \\ y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2} \end{cases} \end{cases}$$



II. $\vec{v}_0 \perp \vec{F}$, траектория — парабола

$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const}$$

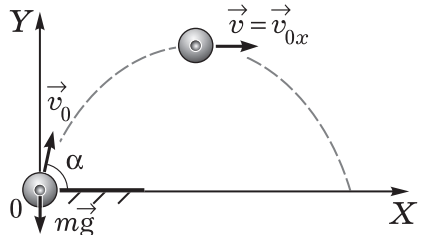
$$\begin{cases} v_x = v_0, \\ v_y = g_y t \\ \begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t, \\ y = y_0 + \frac{g_y t^2}{2} \end{cases} \end{cases}$$



III. \vec{v}_0 — под углом к \vec{F} (и к горизонту), траектория — парабола

$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const}$$

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cos \alpha, \\ v_y = v_0 \sin \alpha + g_y t \\ \begin{cases} x = x_0 + v_0 t \cos \alpha, \\ y = y_0 + v_0 t \sin \alpha + \frac{g_y t^2}{2} \end{cases} \end{cases}$$



С учётом значений проекций величин уравнения приобретают вид

$$\begin{cases} -v = 0 - gt, \\ y = h - \frac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

В выбранной системе отсчёта конечные условия следующие: $y = 0$, $t = t_1$. С учётом этих данных получаем

$$\begin{cases} v = gt_1, \\ 0 = h - \frac{gt_1^2}{2}. \end{cases}$$

Из второго уравнения находим значение времени, из первого — значение скорости. Окончательный ответ: $t_1 = 10$ с, $v = 100$ м/с.

Анализ решения. При решении задачи можно построить графики зависимостей ускорения, скорости, координаты от времени. *Вопросы для обсуждения:* будет ли теоретически рассчитанное время падения груза равно времени, полученному экспериментально? Почему?

Задачи для самостоятельного решения в классе и дома: П., № 89, 90, 99.

Урок 4*. Решение задач (резерв учителя)

Урок 5. Лабораторная работа «Изучение движения тела, брошенного горизонтально»

В условиях ограничений в использовании экспериментальных методов считаем, что нельзя отказываться от простых и опробованных лабораторных работ. Деятельность школьников организуется по известным инструкциям (см. с. 396 учебника).

Домашнее задание: П., № 174, 175.

Урок 6*. Движение тела под действием нескольких тел

Задачи урока: сформировать умение описывать движение тела с помощью второго закона Ньютона.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение II. Пример решения задачи	5 10—15	Ответы на вопросы Решение у доски. Беседа

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
III. Самостоятельная работа	20—25	Решение задач
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Повторение носит характер актуализации знаний. Поэтому обсуждаются *вопросы*: что такое равнодействующая сила? Как определить, сколько сил действует на тело? Какие виды сил мы изучали? Каковы законы, которым подчиняются названные силы? Как применить второй закон динамики, если на тело действуют две силы?

II. Определим последовательность организации основного этапа урока.

1. Постановка учебной проблемы и мотивация деятельности обеспечивается введением учителя.

В окружающей нас жизни существенное значение имеют движущиеся тела — санки, велосипеды, автомобили. Практически всегда движение обусловлено действием нескольких тел: например, это действие Земли и действие опоры. Итак, наша задача — научиться определять характеристики (ускорение, скорость, перемещение) тела, к которому приложены две-три силы.

2. Самым простым случаем ускоренного движения является движение по прямой. Обратимся к решению задачи.

Поезд массой 500 т после прекращения тяги электровоза останавливается в результате действия силы трения, равной 10^5 Н, через время, равное 1 мин. Чему равна скорость поезда до начала торможения?

Анализ физического явления. По всем условиям задачи поезд можно моделировать материальной точкой: размеры его не имеют значения, движение частей нас не интересует, движение поезда прямолинейное и равноускоренное. *Вопросы*: почему равноускоренное? Откуда это следует? Какие тела действуют на поезд? (Ответ. Действует Земля. Притяжение описывается выражением для силы тяжести. Действие поверхности проявляется двояко: оказывает сопротивление движению (сила трения) и оказывает давление (сила реакции опоры).)

В задаче говорится о тяге электровоза. *Вопрос*: что это такое? (Ответ. Это дополнительное действие поверхности Земли в ответ на действие колёс электровоза.) Но в задаче рассматривается момент движения, когда сила тяги равна нулю, т. е. электровоз уже не тянет вагоны. На рисунке 60 показаны силы, действующие на поезд. Они определяют характер его движения.

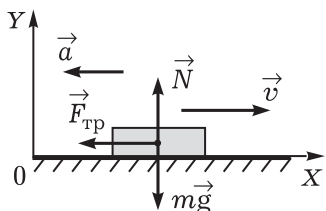


Рис. 60

Идея решения. По условиям задача динамическая, но найти надо кинематическую характеристику — начальную скорость. Для этого надо знать ускорение, которое определяется на основе второго закона динамики.

Решение. Строим основное уравнение динамики для нашей материальной точки (поезда): $m\vec{a} = \vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g} + \vec{N}$.

Для получения скалярных уравнений проецируем векторы на оси выбранной системы координат (см. рис. 60):

$$\begin{aligned} -ma &= -F_{\text{тр}}, \\ 0 &= -mg + N. \end{aligned}$$

Из второго уравнения следует, что силы, действующие в вертикальном направлении, компенсируют друг друга. Это и понятно, раз нет движения поезда по вертикали. Из первого уравнения получаем выражение для ускорения: $a = F_{\text{тр}}/m$.

Далее решение становится чисто кинематическим. Для проекции скорости имеем $v_x = v_{0x} + a_x t$.

С учётом начальных и конечных условий получаем $0 = v_0 - at$, или $v_0 = at$. Далее следует подставить в это выражение ускорение и сделать расчёт. Получаем значение скорости около 43 км/ч.

Анализ решения. Полученное значение скорости реально для поезда. А раз так, то, значит, выбранная нами модель поезда позволяет хорошо описать его движение. Единицы правой и левой частей решения в общем виде совпадают, что также подтверждает верность решения. *Дополнительный вопрос:* какие характеристики движения поезда можно ещё определить?

3. Организуют самостоятельное *решение задач*. Сначала желательно решить экспериментальную задачу, например такую: как и почему движется ластик при вращении диска (рис. 61)?

Вопросы для организации беседы: движение какого тела мы изучаем? Как ластик движется? (Ответ. При условии покоя ластика относительно диска это движение относительно наблюдателя криволинейное по дуге окружности, равноускоренное при равномерном вращении диска.) Как направлено ускорение? Как это доказать? Каковы причины ускоренного движения ластика? (Ответ. Действие Земли и поверхности диска.) Как и почему действует диск? (Ответ. Реакция опоры, трение покоя.) Куда направлена сила трения покоя? Почему при некоторой скорости вращения диска ластик начинает скользить относительно диска? При каком условии это происходит? (Ответ. Сила трения покоя уже не обеспечивает нужного центростремительного ускорения.) Как с помощью диска сравнить силы трения покоя двух тел?

III. Задачи для самостоятельного решения: П., № 138, 139, 161.

IV. Домашнее задание: П., № 147.

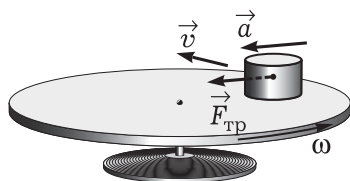


Рис. 61

Урок 7*. Лабораторная работа «Изучение движения тела по окружности под действием сил упругости и тяжести»

Работу организуют по известным инструкциям.

Домашнее задание: П., № 162.

Урок 8*. Решение задач (резерв учителя)

В начале урока рекомендуем *решение типичных задач.*

В конце урока может быть проведена небольшая *лабораторная работа* по изучению движения тела по наклонной плоскости с использованием следующего оборудования: трибометр или линейка длиной 50—60 см, деревянный брусок, динамометр и транспортир. На доске (листочках) сформулированы задания для выполнения.

1. Как и почему изменяются показания динамометра при равномерном движении бруска горизонтально и по наклонной плоскости? Для объяснения выполните рисунки, обозначив в условном масштабе действующие силы.
2. Определите разность показаний динамометра при равномерном движении тела вверх и вниз по наклонной плоскости. Выполните рисунки, объясните результат.
3. Подберите угол наклона плоскости, при котором брусок начинает равномерно скользить. Измерив угол и силу тяжести бруска, определите силу трения.

Домашнее задание: П., № 173.

Урок 9*. Контрольная работа

ГЛАВА V. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Законы сохранения — одно из самых мощных средств описания движения механической системы. Сохраняющаяся физическая величина всегда очень удобная характеристика. И учёные стремятся такие характеристики найти. В механике законы сохранения импульса и энергии являются следствиями законов Ньютона. Но затем по мере развития физики они приобретают статус фундаментальных законов.

Ключом успешного усвоения темы является решение задач, при котором полноценно должны выделяться рассматриваемые явления, последовательно и аккуратно в том или ином виде использоваться законы сохранения. Необходимым условием остаётся поддержание интереса школьников к организации деятельности в целом.

Урок 1. Движение материальной точки. Импульс

Задачи урока: ввести понятие импульса материальной точки; продолжить формирование умений выделять и описывать движение механической системы.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний	5	Беседа по вопросам
II. Изучение и усвоение нового материала	10—15	Беседа. Работа с учебником. Рассказ
III. Формирование умений	15—20	Решение задач
IV. Домашнее задание	2—3	Сообщение учителя

I. Обсуждают *вопросы*: какое движение называют механическим? Движение каких объектов изучает механика? Что такое материальная точка? Как может двигаться материальная точка под действием силы?

II. Организация деятельности при изучении нового материала может быть такой:

1. Рассмотрим типичное явление — движение тела под действием другого тела. Модель этого явления — движение материальной точки под действием силы. Какое в общем случае это может быть движение? Перечислим, какие характеристики такого движения нам известны.

2. Для описания движения материальной точки применим второй закон Ньютона (организуется работа с учебником, с. 123).

3. Физическая величина $\vec{p} = m\vec{v}$ получила название «импульс»; она характеризует движение тела, обладающего массой. Импульс системы материальных точек равен сумме импульсов всех точек; импульсы суммируются по правилу сложения векторов.

III. Организуется коллективное решение задач.

1. Поезд массой 500 т после прекращения действия тяги останавливается в результате трения за время, равное 1 мин. Определите скорость поезда до начала торможения. Сила трения равна 10^5 Н.

Анализ физического явления. Тело (поезд) движется прямолинейно и равнозамедленно под действием силы трения. Для описания движения тела выбираем подходящую модель — это материальная точка. На рисунке выделите нужные состояния движения материальной точки, покажите действующие силы, выберите систему отсчёта. Силы выбираются по принципу: есть действие, значит, есть его характеристика.

Идея решения. В условии задачи даны динамические характеристики тела и движения, поэтому задача по характеру ди-

намическая. Такое движение материальной точки описывается вторым законом Ньютона.

Решение. Сила тяжести и сила реакции опоры компенсируют друг друга. Поэтому второй закон динамики можно записать в виде

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F}t.$$

В нашей системе отсчёта одна ось OX ; при проецировании на неё уравнения с учётом равенства нулю конечной скорости получаем скалярное уравнение $-mv_1 = -Ft$.

Со скалярными величинами можно производить математические действия, поэтому имеем общее решение: $v_1 = \frac{Ft}{m}$. Расчёт даёт значение 12 м/с.

Анализ ответа и решения. Поезд ехал со скоростью около 43 км/ч и мог затормозить за время, равное 1 мин. Таким образом, количественные расчёты не противоречат практике, выбранная модель описания движения поезда является разумной. Проверив размерность, делаем вывод, что общее решение получено верно: $\frac{м}{с} = \frac{Н \cdot с}{кг} = \frac{м}{с}$. Как изменялся импульс поезда при движении? Быстрее или медленнее затормозит поезд, если будет иметь большую массу?

В конце урока лучше всего решить одну-две задачи с векторами: 1. Определите импульс силы, если начальный и конечный импульсы материальной точки известны (рис. 62). 2. Определите, действовала ли на материальную точку сила, если состояния движения точки характеризовались импульсами, изображёнными на рисунке 63.

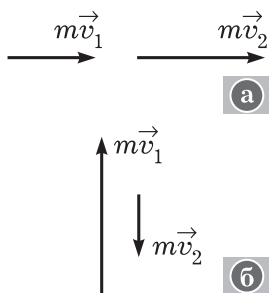


Рис. 62

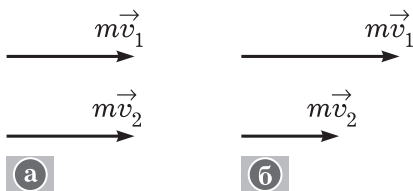


Рис. 63

2. Задача: П., № 188.

IV. Домашнее задание: § 38; П., № 186, 187.

Урок 2. Закон сохранения импульса

Задачи урока: определить понятия «замкнутая физическая система», «внешние силы», «внутренние силы»; сформулировать закон сохранения импульса; сформировать умение использовать закон сохранения импульса.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	7—10	Проверка домашнего задания
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Беседа. Постановка опыта
III. Формирование умений	10	Пример решения задачи
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. Повторение.

II. Содержание урока следует логике учебника.

1. Физической системой может быть любая совокупность объектов, выбранная с какой-то целью. Простейшей системой является совокупность только двух тел. Очевидно, что моделью такой системы будут две материальные точки. (Выполняют рисунок 4.2 из учебника, вводят понятия внешних и внутренних сил.) Демонстрируют опыт по взаимодействию шаров при столкновении, лучше продемонстрировать столкновение шаров на бифилярных подвесах (рис. 64).

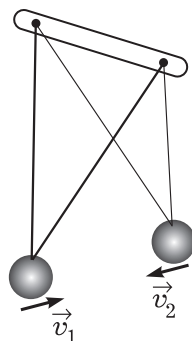


Рис. 64

Вопросы при наблюдении опыта: какую физическую систему мы выбираем для изучения? Как направлен импульс первого шара в момент удара о второй? Каков он после удара? Каков импульс второго шара после соударения? Какую гипотезу на этот счёт можно высказать, наблюдая движение второго шара?

2. *Учебная проблема:* применим ли второй закон Ньютона в импульсной форме для системы двух взаимодействующих материальных точек. (Получают уравнение $\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \vec{F} \Delta t$.)

3. Формулируют условия сохранения импульса для системы материальных точек (и соответствующей системы тел). Следует обратить внимание на случай сохранения проекций импульса системы на ось.

III. Рекомендуем рассмотреть пример решения задачи из учебника (§ 39, задача 1). Дополнительно необходимо выполнить рисунок (рис. 65).

Вопросы для организации усвоения: можно ли рассматривать систему двух шаров как замкнутую? (Сумма внешних сил — силы тяжести и силы

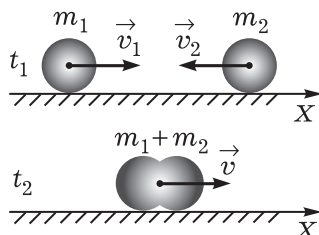


Рис. 65

реакции опоры, действующих на систему, равна нулю.) Выполняется ли закон сохранения импульса? (Ответ. Да.) Сохраняется ли проекция импульса на ось OX для системы тел?

IV. Домашнее задание: § 38; упр. на с. 129 (1, 2).

Урок 3*. Решение задач

Урок строится традиционно.

I. Необходимо кратко повторить теорию, в том числе решение домашних задач. Возможны письменные ответы: получение закона сохранения импульса, понятие импульса, второй закон Ньютона.

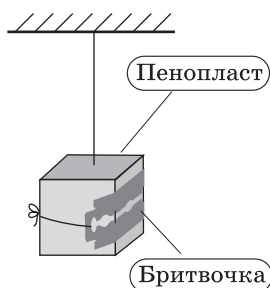


Рис. 66

II. Приведём примеры задач для коллективной работы. Типовое решение представлено в учебнике (§ 39).

1. Как и почему будет двигаться механическая система, изображённая на рисунке 66, если пережечь нить? Как экспериментально определить импульс, который лезвие бритвочки передало кусочку пенопласта? (Школьник у доски ставит опыт, проводит измерения, коллективно делается расчёт.)

2. Вагон массой 60 т, двигавшийся со скоростью 2 м/с, сцепляется с неподвижным вагоном массой 40 т. Определите скорость системы после автосцепки.

Вопросы при организации решения: можно ли считать рассматриваемую систему замкнутой? Как и почему изменяются импульсы вагонов? Выскажите гипотезу, больше или меньше должна быть реальная скорость движения системы двух вагонов.

III. Задачи для самостоятельного решения: П., № 189—192, 196.

IV. Домашнее задание: § 39*; П., № 198.

Урок 4*. Реактивное движение и его использование в освоении космического пространства

Сначала на уроке рассматривают новый материал (20 мин), затем проверяют домашнее задание и решают задачи.

Реактивным называют движение тела под действием отделившихся от него с некоторой скоростью частей этого тела. На *опытах* показывают образ этого явления: а) отклонение резиновой трубки с Г-образным наконечником при выливании воды; б) движение воздушного шарика с соплом от стержня шариковой ручки по поверхности воды. Необходимо на основе закона сохранения импульса вывести формулу для определения скорости ракеты:

$$v_p = \frac{m_{\text{газ}}}{m_p} v_{\text{газ}}$$
 Почему эта формула является приближённой? Что мы понимаем под массой ракеты?

По реактивным двигателям и вопросам освоения космического пространства могут быть два кратких доклада, но не стоит стремиться охватить необъятное.

Решают задачи на реактивное движение.

1. Охотник массой 70 кг, находясь в лёгкой надувной лодке, стреляет в горизонтальном направлении. С какой скоростью он будет двигаться после выстрела, если дробь массой 35 г имеет начальную скорость 320 м/с?
2. Космическая ракета массой 5 т для манёвра на орбите включает тормозные двигатели. При сгорании топлива массой 500 кг образуются газы, вылетающие со скоростью 1000 м/с. На сколько уменьшается скорость ракеты?

Домашнее задание: § 38; упр. на с. 129 (3, 4).

Урок 5*. Решение задач. Самостоятельная работа

Задачи урока: сформировать умения выделять явления взаимодействия тел и характеризовать их на основе закона сохранения импульса.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	7—10	Проверка домашнего задания
II. Формирование умений	10	Решение задач
III. Самостоятельная работа	20—25	Решение задач
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. Фронтально при решении задач повторяют *вопросы*: что такое импульс? Как определить импульс тела? Как рассчитать импульс системы тел? В каких случаях сохраняется импульс системы тел? Что характеризует импульс?

II. Дополнительно решают одну задачу с подробным объяснением всех этапов.

Какую скорость приобретёт неподвижная лодка массой 200 кг, если с неё выстрелили в горизонтальном направлении? Масса пули 20 г, скорость пули 800 м/с.

III. Для самостоятельной работы предлагаем следующие типичные задачи.

Вариант 1

1. Снаряд массой 100 кг, летящий горизонтально со скоростью 500 м/с, попадает в вагон с песком массой 10 т. С какой скоростью начнёт двигаться вагон, если до попадания снаряда он стоял неподвижно?

2. Тело массой 500 г падает с высоты 10 м на землю. Определите изменение импульса тела.

Вариант 2

1. Снаряд при горизонтальном движении со скоростью 15 м/с разорвался на два осколка массами 14 и 6 кг. Скорость первого осколка составила 24 м/с по направлению движения. Чему равна и куда направлена скорость второго осколка?
2. Как изменился импульс тела массой 200 г при поднятии на высоту 5 м, если тело было брошено вверх со скоростью 12 м/с?

IV. Домашнее задание: П., № 202.

ГЛАВА VI. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Существуют разные по задачам и возможностям способы описания механического движения. Ранее мы рассмотрели кинематические и динамические средства описания движения. Приведём ещё один способ — энергетическое описание механического движения. Общим свойством материальных объектов является их движение, в частности механическое движение. Фундаментальной характеристикой движения является физическая величина — энергия. Как её определить, что даёт знание этой характеристики для изучения движения механической системы — основные *учебные проблемы* ряда уроков. При изучении темы формируются умения выделять механические системы и физические явления, описывать их с помощью физических величин и законов сохранения.

Урок 1. Механическая работа и мощность

Задачи урока: ввести понятия «механическая работа», «мощность»; сформировать умение рассчитывать работу и мощность.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	7—10	Проверка домашнего задания
II. Изучение и усвоение нового материала	20—25	Рассказ. Беседа. Постановка опыта
III. Формирование умений	10	Пример решения задачи
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. *Вопросы для повторения:* что называют перемещением? Что характеризует сила? Как найти проекцию вектора на ось?

II. По нашему мнению, следует сразу, без излишних вступлений, ввести формулу для определения работы силы. Приведём план рассказа учителя.

1. *Вопрос:* чем различаются перемещения тела под действием других тел? (Ответ учителя: различаются действием и перемещением.)

Одновременно демонстрируют *опыты*: а) движение бруска на одинаковое расстояние под действием разных сил; б) движение бруска на разные расстояния под действием одной силы. Используется оборудование: трибометр, деревянный брусок, набор грузов, динамометр.

2. Для характеристики этих разных движений тела под действием других тел вводят новую физическую величину — **работу силы**. Выполняют рисунок (рис. 4.4 учебника), приводят формулу, отмечают скалярный характер новой величины, вводят единицу работы. При этом следует обратить внимание, что перемещение обозначается так: $\Delta \vec{r}$.

3. Изучают частные случаи вычисления работы силы: работа положительная, отрицательная и нулевая; работа нескольких сил. Графическое представление работы (рис. 4.6 учебника) выполняют на доске и в тетрадях.

4. Определение мощности и её единиц.

III. Предлагаем решить следующие типичные задачи.

1. С какой силой мальчик тянет санки за верёвку, направленную под углом 30° к горизонту, если на расстоянии 100 м совершается работа, равная 8 кДж?
2. Какую мощность развивает двигатель автомобиля, если при силе тяги 4500 Н автомобиль движется со скоростью 20 м/с?

IV. Домашнее задание: § 40; П., № 204, 205; индивидуально — П., № 210.

Урок 2. Энергия как характеристика состояния системы. Кинетическая энергия

Задачи урока: повторить и углубить представления об энергии; сформировать умение рассчитывать энергию как характеристику физической системы.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	7—10	Проверка домашнего задания
II. Изучение нового материала	20	Рассказ. Беседа. Постановка опыта
III. Формирование умений	15	Примеры решения задач
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. Повторение проводится при проверке решения домашних задач и дополнительном решении одной задачи у доски. Теория повторяется параллельно.

II. Предлагаем следующее содержание нового материала и последовательность его рассмотрения.

1. Что такое энергия — первая учебная проблема урока. Мы изучаем механические системы. Какие они бывают? (Приводят примеры: два шара, тело и стол, просто мяч и др.) *Обобщение:* любые выделенные тела могут быть названы механической системой. Какие явления могут происходить в системе? (Ответ. Тела в системе могут двигаться и взаимодействовать.)

В качестве общей характеристики движения и взаимодействия тел в системе учёные ввели фундаментальную физическую величину — **энергию**. Энергия характеризует состояние движения и взаимодействия тел в системе.

Тело или система тел, обладающая энергией, в состоянии совершить работу. Ставят *опыты*: а) движущийся по жёлобу шарик может сдвинуть цилиндр (рис. 67); б) сжатая пружина может поднять тело.

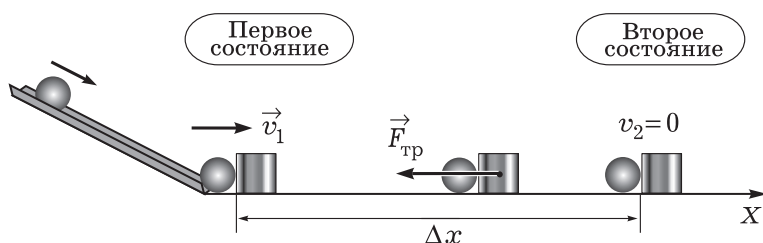


Рис. 67

2. Как энергия тела зависит от скорости его движения — следующая учебная проблема. Энергия, характеризующая движение тела, называется кинетической энергией.

Опыт (см. рис. 67): из первого состояния во второе движутся шарик с цилиндром. При этом совершается работа. Какая сила совершает работу при перемещении тел? (Ответ. Сила трения.) Определим эту работу (следует вывод по логике учебника — с. 132). В тетрадах и на доске выполняют рисунок 67.

Величина $E = \frac{mv^2}{2}$ характеризует состояние движения тела; она и получила название **кинетической энергии**.

III. Коллективно решают задачи.

1. Определите работу силы, действующей на шарик в нашем опыте (см. рис. 67), если масса шарика 50 г, а его начальная скорость 1 м/с.
2. Совершает ли работу человек: а) поднимаясь по лестнице; б) держа ведро воды в руках? Совершают ли работу силы, если их равнодействующая равна нулю?

Индивидуально предлагается задача.

3. Для забивания сваи массой 100 кг используют копёр, подъёмная часть которого массой 400 кг падает с высоты 2 м. Определите среднюю силу сопротивления грунта, если в результате одного удара свая уходит в землю на 5 см. Удар считайте абсолютно неупругим.

IV. Домашнее задание: § 41, 42*; упр. на с. 139 (1).

Урок 3*. Решение задач (резерв учителя)

Урок 4. Работа силы тяжести. Решение задач

Задачи урока: получить формулу для вычисления работы силы тяжести; ввести понятие о консервативных силах; сформировать умение рассчитывать работу силы тяжести при разных движениях тела.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10	Проверка решения задачи из домашнего задания. Опрос
II. Изучение и усвоение нового материала	20—25	Рассказ. Беседа. Постановка опыта
III. Формирование умений	10	Примеры решения задач
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. У доски повторяют решение домашней задачи. Фронтально обсуждают *вопросы*: как рассчитать работу силы? От чего зависит работа силы? Можно ли определить работу силы, если известно изменение кинетической энергии материальной точки?

II. Изучение и отработка нового материала заключаются в решении задач. Приведём их последовательность.

1. Определите работу силы, действующей на материальную точку при её движении вертикально вниз и под углом к горизонту (рис. 4.11, 4.13 учебника).

Вопросы для организации беседы: как движется тело, отпущенное с какой-либо высоты? Почему? Как обычно моделируют тело при таком движении? Какая сила приложена к материальной точке? Как она направлена? Как определить работу этой силы? Какую закономерность можно подметить, получив формулы для вычисления работы в двух случаях?

2. Учитель делает обобщение, вводит понятие о консервативных силах, коллективно обсуждается работа такой силы по замкнутой траектории (рис. 4.15 учебника).

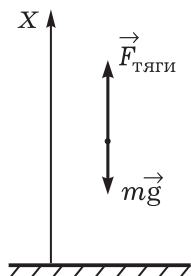


Рис. 68

III. Продолжается групповое и индивидуальное решение задач (из задачника, на карточках).

Тело массой 100 кг поднимают с ускорением 2 м/с^2 на высоту 25 м. Определите работу, которая совершается при подъёме тела.

Вопросы при обсуждении решения: какое явление мы рассматриваем в задаче? (Ответ. Ускоренное движение вверх под действием: а) Земли; б) верёвки или какой-то опоры.) Как построить модель явления? (Ответ. Это материальная точка, к которой приложены две силы, причём результирующая сила направлена

вверх; рис. 68.) Работу какой силы нам нужно найти? (Ответ. Силы тяги.) Как её определить? (Ответ. Надо найти силу, так как перемещение известно.) Можно ли сразу воспользоваться формулой $A = mgh_1 - mgh_2$? (Ответ. Нет, нельзя.) Как найти силу тяги? (Ответ. На основе использования второго закона динамики: $m\vec{a} = \vec{F}_\tau + m\vec{g}$.)

Задачи для решения: П., № 225, 226, 229.

IV. Домашнее задание: § 43.

Урок 5*. Работа силы упругости. Решение задач

Урок строится аналогично предыдущему. Помимо традиционных (П., № 230, 231, 234), предлагаем несколько редко используемых задач (индивидуально).

1. Гимнаст массой 80 кг прыгает с высоты 10 м на растянутую горизонтальную сетку. С какой средней силой он давит на сетку, если она прогибается на 1 м? Опасным ли будет прыжок, если в результате сетка прогибается на 0,1 м? **Примечание:** предел перегрузки для человека $10g$.

2. Определите работу по растяжению пружины на всю шкалу у предлагаемого динамометра (лабораторного или трубчатого). Какую энергию в результате этой работы приобретает пружина? (Ученик показывает действие, выполняет измерение смещения пружины, определяет среднюю силу, делает расчёт работы. Возможен и другой порядок решения.)

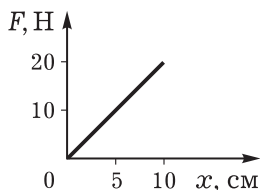


Рис. 69

3. По графику зависимости изменения силы упругости от деформации пружины (рис. 69) определите работу внешней силы за весь период наблюдения.

Домашнее задание: упр. на с. 139 (2).

Урок 6. Потенциальная энергия. Решение задач

Задачи урока: ввести понятие о потенциальной энергии как характеристике взаимодействия тел; ввести формулы для расчёта потенциальной энергии в случаях взаимодействия тела с Зем-

лём, деформированного тела; сформировать умение определять потенциальную энергию тела.

I. В начале урока достаточно подробно повторяют решение домашней задачи.

II. Последовательность рассмотрения нового материала такова:

1. Повторяют, что характеризует кинетическая энергия. Сообщают, что механическое движение проявляется и во взаимодействии тел. Взаимодействие тел в простых случаях характеризуют потенциальной энергией. Как её определить — *учебная проблема* урока.

2. Вспоминают определение работы для консервативных сил:

$$A = mgh_1 - mgh_2 \text{ и } A = \frac{k\Delta l_1^2}{2} - \frac{k\Delta l_2^2}{2}.$$

Видно, что в этих случаях работа зависит только от начального и конечного состояний системы. Величину, характеризующую состояние системы, и называют потенциальной энергией. Для разных взаимодействий она определяется по-разному.

3. Как определить работу в случае консервативных сил — *учебную проблему* формулирует учитель. По учебнику комментируют формулу, зачитывают определение потенциальной энергии (с. 143).

4. Учитель кратко поясняет выбор нулевого уровня потенциальной энергии удобством решения той или иной задачи.

III. Отработка умений происходит при коллективном и индивидуальном решении задач. Вначале у доски решают задачи.

1. Чему равна работа, которую нужно совершить, чтобы поднять ведро воды массой 10 кг на второй этаж, высота которого 5 м?

2. Чему равна работа, которую нужно совершить, чтобы растянуть на 10 см пружину, имеющую жёсткость 40 кН/м? Может ли такую работу совершить человек за время, равное 1 с?

Затем организуется решение задач по карточкам.

IV. Домашнее задание: § 44; упр. на с. 145 (ЕГЭ); П., № 236.

Урок 7. Закон сохранения энергии в механике

Задачи урока: ввести закон сохранения энергии системы материальных точек для случая действия консервативных сил; повторить и углубить понятие о замкнутой системе; сформировать умение применять закон для описания движения тел в системе.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний	7—10	Проверка домашнего задания
II. Изучение и усвоение нового материала	20—25	Рассказ. Беседа. Постановка опыта

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
III. Формирование умений	10	Примеры решения задач
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. У доски выполняют решение одной из домашних задач, дополнительно решают подобную задачу.

Вопросы для фронтального повторения: в чём состоит различие между потенциальной и кинетической энергиями? Что характеризует потенциальная энергия? Изменилась ли потенциальная энергия книги, если она со стола упала на пол? Какие силы называют консервативными? Чему равна работа силы упругости, если тело на пружине вернулось в первоначальное положение (демонстрируют опыт)?

II. Приведём самый простой вариант методики изложения закона сохранения энергии.

1. На основе богатой практики учёные выяснили, что в замкнутой физической системе, в которой действуют только консервативные силы, **механическая энергия сохраняется:**

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \text{const.}$$

Это один из самых великих законов физики.

2. Раскроем содержание этого закона на конкретных примерах движения и взаимодействия тел.

Пример 1. У доски ученик под руководством учителя решает задачу.

Мячик отпущен из окна здания с высоты 10 м. Определите скорость, с которой он упадёт на землю.

Вопросы для организации беседы: какую физическую систему надо выделить, чтобы в нашем случае считать её замкнутой? Можно ли выбрать её из одного объекта — мячика? (Ответ. Нет. Наблюдаемое нами явление обусловлено взаимодействием мячика и Земли. На рисунке, который сделан к задаче, показан выбор системы, выделены два нужных нам состояния системы.) Чему равна кинетическая энергия системы в первом состоянии? Из чего она состоит? Чему равна полная энергия в первом состоянии? (Ответ. Это энергия взаимодействия мяча и Земли, т. е. потенциальная энергия тела, поднятого над Землёй.) Чему будет равна полная энергия системы в любом другом состоянии, в момент падения? Как записать закон сохранения энергии для условий нашей задачи?

Пример 2. В случае существования трения (сопротивления), т. е. наличия неконсервативных сил, их работа приводит к уменьшению полной механической энергии системы, т. е. $\Delta E = A$. У доски ученик решает задачу: П., № 257.

III. Предлагается самостоятельное решение задач: П., № 238, 239, 247.

IV. Домашнее задание: § 44, 45; П., № 255.

Урок 8. Лабораторная работа «Изучение закона сохранения механической энергии»

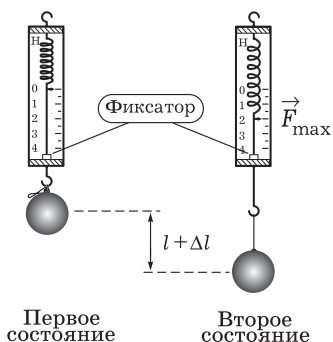


Рис. 70

На работу с учётом введения и контрольных вопросов отводится целый урок. Учителю для теоретической части работы надо чётко определить ответы на *вопросы*: какая физическая система изучается? (Ответ. Это система «пружина, груз и Земля».) Замкнутая ли это система? (Ответ. Да.) Какие состояния системы выделяются в опытах? (Выполняют рисунок 70.)

Возможные *контрольные вопросы*: в какой момент опускания груза его кинетическая энергия максимальна? Точно ли выполняется закон сохранения механической энергии для нашей системы? От чего зависит энергия системы во втором состоянии?

Домашнее задание: П., № 244.

Урок 9*. Решение задач

На уроке в основном решают задачи на закон сохранения энергии.

Пример решения задачи.

Поезд двигался со скоростью 20 м/с и начал тормозить. Чему равен его тормозной путь, если коэффициент трения равен 0,1?

Анализ явления. Рассматривается довольно типичное механическое явление — прямолинейное ускоренное движение тела, причём равнозамедленное. Какова причина такого движения? Трение, т. е. действие Земли. Это действие характеризуется силой. Сила нормального давления и сила реакции опоры компенсируют друг друга. Почему? Нет движения тела по вертикали. Так как действие определено, то можно тело моделировать материальной точкой. Отсюда модель явления: движение материальной точки с начальной скоростью под действием одной силы до остановки.

Идея решения. Задача по требованию кинематическая — надо найти путь. Но по условию задача явно динамическая, так как выделен фактор действия, т. е. сила трения. По-видимому, такие задачи можно решать двумя методами:

а) использовать основное уравнение динамики и законы кинематики; б) использовать энергетическое описание движения. Выберем второй метод.

Решение. Изменение кинетической энергии материальной точки будет равно работе силы трения, т. е.

$$\frac{mv^2}{2} = Fs = \mu mgs.$$

Отсюда получаем $s = \frac{v^2}{2\mu g}$. Расчёт даёт значение тормозного пути около 200 м.

Анализ решения. Разумно ли такое значение тормозного пути? Легко проверить, что единица величины слева соответствует единице справа. С этой точки зрения всё нормально. Чему должен быть равен коэффициент трения, чтобы поезд затормозил на пути длиной 10 м? Возможно ли такое?

Приведём примеры задач для решения на уроке.

1. С какой начальной скоростью надо бросить вниз мяч, чтобы он подпрыгнул на высоту, в два раза большую той, с которой был брошен? **Примечание:** удар о землю следует считать абсолютно упругим.
2. С горки высотой 2 м и длиной 4 м съезжают санки, которые останавливаются, пройдя по горизонтали путь длиной 20 м. Определите коэффициент трения.
3. На рисунке 71 изображён график изменения скорости автомобиля массой 2 т за время, равное 20 с. Чему равна работа силы тяги, если коэффициент трения равен 0,05?

Домашнее задание: П., № 245.

Урок 10*. Контрольная работа

Для контроля знаний лучше всего подобрать тесты.

Ниже даны традиционные варианты **контрольной работы**.

Вариант 1

1. График растяжения пружины приведён на рисунке 72. Определите работу, которая была совершена при растягивании пружины.

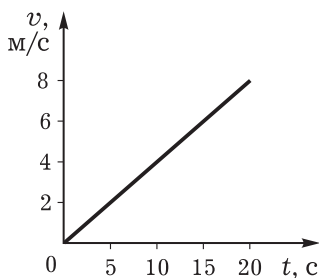


Рис. 71

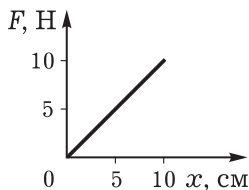


Рис. 72

2. Мальчик массой 60 кг бежит со скоростью 6 м/с и догоняет тележку массой 40 кг, которая движется со скоростью 2 м/с. Определите скорость, которую приобретёт тележка, если мальчик запрыгнет на неё.
3. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 9,8 м/с. На какой высоте его потенциальная и кинетическая энергии будут равны?

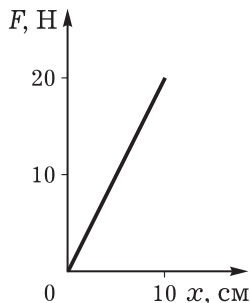


Рис. 73

Вариант 2

1. График растяжения пружины приведён на рисунке 73. Чему равна потенциальная энергия пружины при максимальном растяжении?
2. Снаряд, летящий со скоростью 200 м/с, разорвался на два осколка массами 40 и 60 кг. Второй осколок полетел со скоростью 400 м/с в прежнем направлении. С какой скоростью и в каком направлении полетел первый осколок?
3. При скатывании с горки высотой 5 м санки массой 3 кг приобрели скорость 2 м/с. Определите работу силы трения.

Вариант 3 (индивидуально)

1. Снаряд, летящий со скоростью 200 м/с, разорвался на осколки. Первый осколок массой 40 кг полетел в прежнем направлении со скоростью 400 м/с, второй осколок массой 60 кг полетел в противоположном направлении со скоростью 100 м/с. Определите, были ли ещё осколки.
2. Груз поднимают на высоту h , а затем перемещают по горизонтальной поверхности на такое же расстояние. В каком случае совершается большая работа? Коэффициент трения тела о поверхность μ . Сопротивлением воздуха можно пренебречь.
3. Пуля массой 20 г попадает в деревянный брусок массой 5 кг, который подвешен на тросе длиной 4 м, и застревает в нём. Чему была равна скорость пули, если трос отклонился от вертикали на угол 30° ?

ГЛАВА VII. ДИНАМИКА АБСОЛЮТНО ТВЁРДОГО ТЕЛА

В школьном курсе физики весьма ограниченно рассматривают динамику абсолютно твёрдого тела. Обычно останавливаются только на статике. Но в природе и технике распространено движение твёрдых тел, в том числе вращение. Особенности динамического описания абсолютно твёрдого тела ярко показывают специфику этой модели по сравнению с материальной точкой.

Рационально сначала изучить вопросы статики. Покой тела в данной системе отсчёта является важнейшим видом механического движения. Расчёт зданий, мостов, сооружений базируется на законах этого вида движения. Таким образом, и с практической, и с мировоззренческой точки зрения выделение и изучение равновесия тел оправданны.

В конце главы для углублённого изучения рассматриваются закономерности вращения абсолютно твёрдого тела вокруг неподвижной оси.

Урок 1. Равновесие абсолютно твёрдого тела. Виды и законы равновесия

Задачи урока: ввести понятие абсолютно твёрдого тела как модели тела; изучить явление равновесия тела, определить средства его описания — физические величины и законы; познакомиться с видами равновесия тел; сформировать умение описывать явление равновесия.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	25—30	Рассказ с элементами беседы. Постановка опытов. Работа с иллюстрациями
II. Отработка знаний и умений	10	Фронтальный эксперимент. Записи в тетради
III. Домашнее задание	2—3	Комментарий учителя

I. В окружающей нас жизни многие тела и сооружения находятся в покое относительно Земли. **Равновесием** и называют состояние покоя тела в данной системе отсчёта. Каковы причины такого состояния движения тела? Каковы основные характеристики равновесия тел? Каковы виды равновесия тел? Это основные *вопросы* урока.

Рассмотрим последовательность изучения материала. При организации работы используются рассказ с элементами беседы, опыты и их рисунки, доступные иллюстрации, опорный конспект.

1. При изучении равновесия тел используется новая модель — **абсолютно твёрдое тело**. Что же это за модель? В случае равновесия тела мы уже не можем пренебречь его размерами. Например, лестница стоит у здания. Для понимания этой ситуации уже недостаточно использовать модель «материальная точка». (Далее все закономерности даны для абсолютно твёрдого тела.)

2. Общий ответ на первый из вопросов очевиден: причиной равновесия тела является скомпенсированное действие на него других тел. Отсюда возникает следующая *учебная проблема*: какие это действия и каковы их законы.

Прежде всего в природе и технике мы ежедневно встречаемся с действиями, которые ограничивают движение тел. Например, поверхность Земли ограничивает наше движение, рельсы ограничивают движение поезда и т. п. Такие препятствия движению

называют связями. В таблице 13 указаны наиболее типичные случаи связей. Действие связи по своей природе — это действие, оно описывается силой, которая называется силой реакции связи. С частным случаем этой силы мы уже встречались — это сила реакции опоры \vec{N} .

3. При каких условиях тело будет сохранять состояние покоя, если на него действуют окружающие тела? (Вспоминаем первый закон Ньютона.) Выполняются ли эти условия для груза, подвешенного на пружине? Как это доказать? Ставится *опыт*: груз массой 100 г подвешен на динамометре.

Вопросы для обсуждения: какие тела действуют? Какие силы приложены? Чему они равны?

Итак, **первым условием равновесия тела** является равенство нулю результирующей всех сил, действующих на тело. (Теоретически этот вывод хорошо обоснован в учебнике.) Подтвердим экспериментом данный вывод, рассмотрим равновесие металлической шайбы под действием резинки 1 и двух нитей 2 и 3. Направления действующих сил заданы направлением нитей. Заменяя действие нити действием динамометра, последовательно измеряем силы (рис. 74). В итоге определяем, равна ли нулю равнодействующая всех трёх сил.

Вопросы для обсуждения: куда приложена сила упругости резинки? Как её измерить? Как должна быть расположена шайба при проведении опытов? Почему? Как доказать, что при любом равновесии тела равнодействующая сила равна нулю?

4. Демонстрируют *опыт*: диск (или рычаг) с закреплённой осью вращения находится в покое (рис. 75). Какие тела на него действуют? (Ответ. Земля, ось, подвешенный груз или грузы.) Компенсируются ли действующие силы? Как это доказать? (Ответ. Силы действуют по вертикали; если бы силы не компенсировали друг друга, то тело стало бы двигаться с ускорением вверх или вниз — этого не наблюдается.) Учитель формулирует *учебную проблему*: изменится ли равновесие тела, если силы будут действовать не по одной прямой. (Ответ. Да, тело может прийти во вращательное движение.) Какой вывод можно

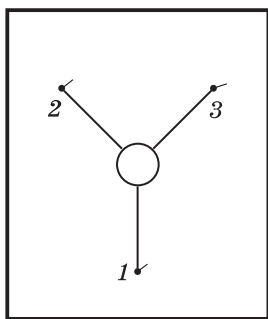


Рис. 74

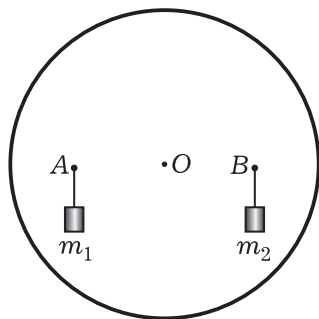


Рис. 75

Статика

Явления

Равновесие тела, т. е. состояние покоя в системе отсчёта

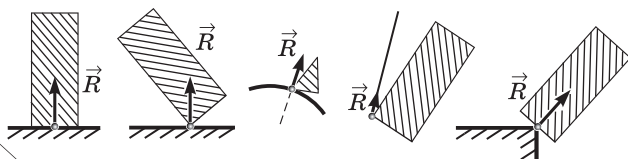
Виды равновесия

Вид равновесия	Тело, имеющее точку опоры	Тело с закреплённой осью вращения	Тело, имеющее площадь опоры
Устойчивое			
Неустойчивое			
Безразличное			

Понятия

Средства описания

1. Реакция связи — сила, действующая на тело со стороны связи:



Значение статики

2. Момент силы: $M = \pm Fd$, где d — плечо силы.

Законы

Первое условие равновесия:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = 0.$$

Второе условие равновесия:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0.$$

1. Расчёт зданий, мостов, различных устройств.

2. Объяснение формы и размеров объектов природы.

сделать? (Ответ. Первого условия равновесия недостаточно для полного описания равновесия.) Как быть?

Прежде всего вращающееся тело нельзя моделировать материальной точкой, ведь части тела движутся неодинаково. Для описания движения надо как раз использовать модель абсолютно твёрдого тела, т. е. недеформируемого тела. Очевидно, что в природе таких тел нет, следовательно, это идеальное представление.

5. Как же зависит результат действия сил на тело от точек приложения сил — следующая учебная проблема. Для её решения выполняют опыт с рычагом.

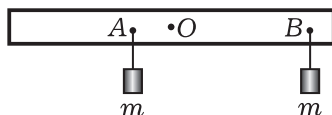


Рис. 76

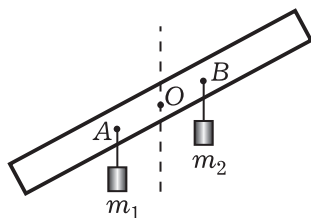


Рис. 77

Приведём задания для коллективного выполнения.

1. На равном расстоянии от оси вращения подвешивают грузы весом по 100 г, действующие на рычаг с одинаковой силой. Чему равна эта сила? Одинаков ли результат действия сил? В чём это выражается? Затем грузы подвешивают на разных расстояниях от оси вращения (рис. 76). Сохранится ли равновесие рычага? (До ответа грузы поддерживают на ладонях или удерживают рычаг.) Какой вывод следует сделать из опыта?

Ответ. Действие силы на абсолютно твёрдое тело, закреплённое на оси вращения, зависит от точки приложения силы.

2. На разных расстояниях от оси вращения подвешивают разные грузы. Рычаг приходит во вращение, но быстро останавливается. Почему рычаг находится в равновесии, хотя точки приложения сил не изменились (рис. 77)? Выскажите предположения (гипотезы), что же стало одинаковым. (Учитель подводит к выводу: одинаковы произведения сил на расстояния по перпендикуляру от оси вращения до линий действия сил.)

Заключение учителя: а) для характеристики действия силы на тело, имеющее ось вращения, вводится новое понятие «момент силы»; б) момент силы определяется...; момент силы считается положительным, если вращает тело против часовой стрелки; в) для равновесия тела алгебраическая сумма моментов сил должна быть равна нулю (см. табл. 13).

Вывод закрепляется при решении простейших экспериментальных задач: 1. Будет ли рычаг находиться в равновесии (рис. 78)? 2. Каковы показания динамометра (рис. 79)? (Сначала шкала динамометра прикрыта листком бумаги.)

6. Далее следует рассказ учителя о **видах равновесия**, о примерах равновесия тел в природе и технике; школьники записей не ведут, опыты поясняют с помощью рисунков. Главное — раскрыть многообразие явления равновесия.

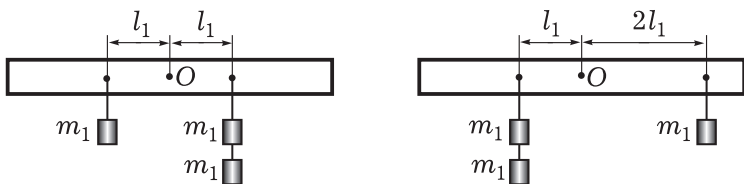


Рис. 78

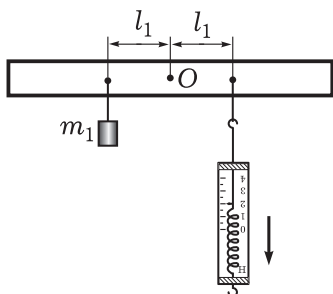


Рис. 79

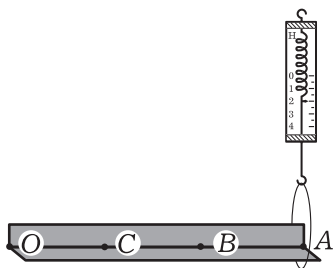


Рис. 80

II. Отработка изученного является естественным продолжением предыдущего этапа урока. Организуется выполнение экспериментальных заданий.

1. Экспериментально проверить справедливость первого условия (закона) равновесия. Повторяется вариант демонстрационного опыта. Один из школьников выполняет опыт у доски.

2. Измерить разные моменты сил. Оборудование: жёлоб лабораторный, динамометр, линейка, петля из нити. Задания: а) определить момент силы при вращении жёлоба вокруг точки O в вертикальной плоскости, прикладывая силу в точках A , B , C (рис. 80); б) сравнить силы и моменты сил, сделать вывод.

III. Домашнее задание: § 51, 52*; упр. на с. 172 (3). Индивидуальные задания: с помощью бытового безмена (динамометра) и линейки определить: а) вращающие моменты стула относительно разных осей вращения при разных точках приложения силы; б) максимальное значение момента силы.

Урок 2. Лабораторная работа

«Изучение равновесия тела под действием нескольких сил»

Работу проводят по типичной инструкции (см. учебник), время выполнения около 30—35 мин. Требования к отчёту: название работы, оборудование, краткая теория (рисунок, название явления — равновесие рычага, т. е. твёрдого тела с осью вращения, правила равновесия для данного случая), таблица, оценка

погрешностей, вывод о выполнимости правила моментов, решение задач.

Примеры контрольных заданий.

1. При каком положении динамометра при подъёме груза будет выигрыш в силе? Оборудование: рычаг, груз, динамометр. Ответ получить в ходе эксперимента.

2. Определить максимально возможный выигрыш в силе для предлагаемых ножниц.

3. Изучить, как изменяются показания динамометра при перемещении точки действия силы от точки A к точке B (рис. 81). Рисунок выполнен на доске.

4. Изменится ли равновесие рычага, если оба тела погрузить в воду (рис. 82)? Рисунок выполнен на доске. Теоретическое решение проверить экспериментом.

Домашнее задание: упр. на с. 172 (2, 4). Индивидуально — задание: исследовать, почему изменяется направление движения катушки ниток, если тянуть за нить сначала силой \vec{F}_1 , а затем силой \vec{F}_2 (рис. 83). Провести опыты, выполнить рисунки с объяснением. (На рисунке 83 для учителя показана ось вращения, изображены плечи сил.)

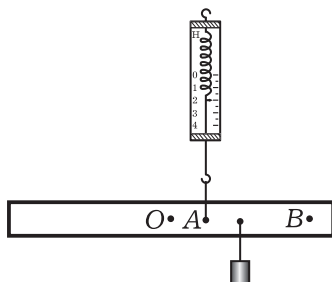


Рис. 81

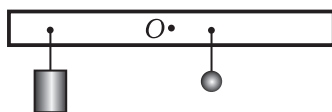


Рис. 82

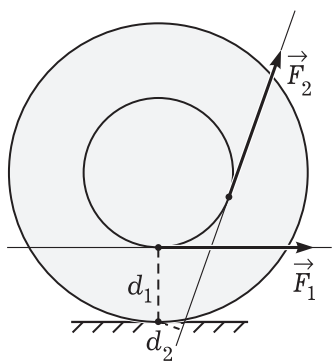


Рис. 83

Урок 3*. Совершенствование знаний и умений

Задачи урока: отработать знания и умения в выделении и описании явления равновесия тела.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10—15	Проверка решения задач. Самостоятельная работа
II. Решение задач	25—30	Постановка и объяснение опыта
III. Подведение итогов. Домашнее задание	3—5	Ответы на вопросы

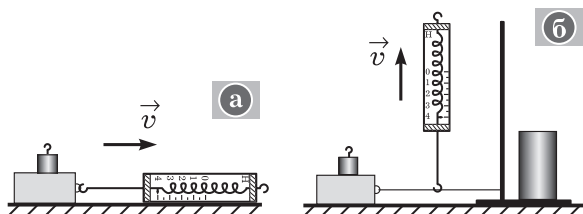


Рис. 84

I. Кроме проверки домашнего задания, может быть организовано повторение и углубление изученного материала при рассмотрении *вопросов*: каковы виды равновесия тел? Какое равновесие называют устойчивым (неустойчивым)? В каком случае тело, имеющее площадку опоры, находится в устойчивом равновесии? Почему мяч, который лежит на столе, находится в состоянии безразличного равновесия? В каком состоянии равновесия находятся ножницы, висящие на гвозде? Почему черепаха, опрокинутая на спину, не может обратно перевернуться?

II. Основная часть урока посвящается решению задач. Используются разнообразные приёмы работы: одновременное решение задачи у доски и на местах; индивидуальное решение экспериментальной задачи, а затем объяснение всем ученикам; теоретическое решение качественной задачи и подтверждение ответа опытом; решение задач на карточках на время с оценкой; решение задач по выбору и др.

Приведём примеры нескольких интересных задач.

1. Как изменить равновесие подвешенной на нити проволоки, не удлиняя и не укорачивая её?

Ответ. Согнуть один конец.

2. Почему одно и то же тело можно стронуть с места разными усилиями (рис. 84)? (Сначала ставится опыт, затем следует теоретическое решение с обозначением на рисунках действующих сил.)

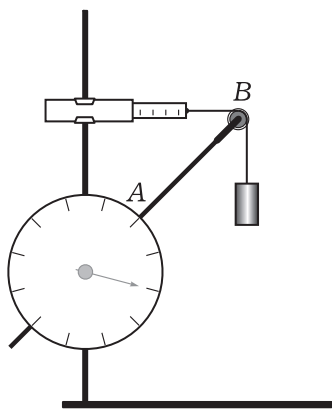


Рис. 85

3. Определите силу упругости подкоса AB модели кронштейна, к которому подвешен груз массой 500 г (рис. 85). Результаты проверьте экспериментально.
Примечание: роль подкоса выполняет демонстрационный динамометр, роль балки — трубчатый динамометр; угол измеряется транспортиром.

III. Устно повторяют вопросы теории.

Домашнее задание: упр. на с. 172 (1, 5). Индивидуально — задание: определить предельный угол наклона коробка спичек, при котором он сохраняет устойчивое равновесие. Зависит ли угол наклона от положения коробка? Изменится ли устойчивость, если коробок приоткрыть?

Урок 4*. Основное уравнение динамики вращательного движения твёрдого тела

Урок может быть организован как изучение нового материала с одновременной его отработкой. Предполагается активное использование содержания учебника. В целом советуем следующую логику учебной деятельности.

Вопросы для организации беседы: какие виды механического движения твёрдого тела вам известны? (Ответ. Поступательное движение, вращательное движение.) Почему поступательное движение тела успешно моделируется движением материальной точки? (Ответ. Все точки тела движутся одинаково.) Можно ли вращение твёрдого тела описать с помощью материальной точки? (Ответ. Нет. Разные точки тела в этом случае движутся по-разному.)

Повторяют модель абсолютно твёрдого тела. Обсуждают, как строится такая модель.

Вводятся характеристики неравномерного вращения абсолютно твёрдого тела относительно постоянной оси: вектор угловой скорости, угловое ускорение, повторяется момент силы, вводится момент инерции. В итоге формулируют основное уравнение динамики вращательного движения тела вокруг неподвижной оси.

Для отработки материала можно предложить *вопросы*: какие свойства твёрдого тела характеризует момент инерции? Что характеризует момент силы? (Ответ. Действие силы в зависимости от её плеча.) У какого обруча момент инерции больше, если массы обручей одинаковые, а радиусы разные?

Домашнее задание: § 48*.

Урок 5*. Закон сохранения момента импульса. Решение задач

В начале урока фронтально повторяют изученный материал: в чём заключается инертность тел? Всегда ли проявляются инертные свойства тел? Какая физическая величина характеризует инертные свойства тела при его поступательном движении (или в случае, когда его можно моделировать материальной точкой)? В каком случае уже нельзя объяснить инертные свойства тела только массой? От чего зависит момент инерции шара (с. 158 учебника)? Что характеризует угловое ускорение? Как зависит угловое ускорение тела от момента силы и момента инерции?

Вводят понятие о моменте импульса как характеристике вращательного движения твёрдого тела. По учебнику рассматривают уравнение момента импульса (с. 160), формулируют закон сохранения момента импульса.

Далее необходимо поставить *опыт*. В демонстрационном варианте он описан в учебнике. При невозможности его проведения можно поставить следующий простой опыт: на крепкой нити закреплена небольшая гайка, нить продёрнута через пустой стержень от шариковой ручки; сначала приводим гайку во вращательное движение в горизонтальной плоскости и постепенно, подтягивая нить, уменьшаем радиус вращения.

Вопросы для обсуждения: как направлена сила? (Ответ. По нити.) Чему равен момент силы? (Ответ. Равен нулю, так как плечо силы равно нулю.) Какой закон сохранения выполняется в случае такого движения? Что происходит с угловой скоростью вращения гайки? (Ответ. Масса гайки постоянна, радиус вращения уменьшается, при сохранении L увеличивается угловая скорость.)

Для отработки темы урока организуют беседу по вопросам (с. 161 учебника).

Домашнее задание: § 49*, 50* (задача 2).

Урок 6*. Кинетическая энергия вращательного движения абсолютно твёрдого тела. Решение задачи

В начале урока организуется фронтальное повторение теории по *вопросам*: что такое тело? Что такое абсолютно твёрдое тело? Есть ли абсолютно твёрдые тела в природе? Как строится эта модель? (Ответ. Система материальных точек, расстояние между которыми неизменно.) В каких механических движениях участвуют тела? (Ответ. В поступательном и вращательном.) Как характеризуются эти движения? Как описываются инертные свойства тела при вращении? Каково основное уравнение (закон) вращательного движения абсолютно твёрдого тела? (Примечание: закон всегда формулируется для модели.)

Понятие о кинетической энергии вводят с помощью учебника: школьники самостоятельно читают небольшой фрагмент текста учебника (с. 160—161). *Вопросы* пишут на доске: как определяется кинетическая энергия модели «абсолютно твёрдое тело»? Используются ли при этом строение модели из материальных точек? Изменится ли кинетическая энергия, если передвинуть ось вращения?

Затем коллективно обсуждают ситуацию: две пластиковые бутылки, пустая и заполненная водой, находятся на вершине наклонной плоскости. У какой из бутылок при скатывании скорость поступательного движения будет больше? Зависит ли скорость от массы? Соблюдается ли для этого движения закон сохранения энергии? (Ответ. Соблюдается, но потенциальная энергия в этом случае равна кинетической энергии поступательного и вращательного движений тела.)

Коллективно, с повторением теории, решают задачу 3 (с. 163 учебника).

Домашнее задание: § 49*; индивидуально — задача 4 (с. 163 учебника).

Урок 7*. Повторение и систематизация знаний (резерв учителя)

На уроке систематизируют теоретические знания о применении законов динамики при описании равновесия тела, совершенствуют умение решать задачи.

Механическая картина мира



Урок 8*. Обобщение: механическая картина мира

Повторение и систематизацию знаний организуют при использовании таблицы 14. О распространении механических явлений в природе и технике школьники делают краткие доклады.

Урок 9*. Итоговый тест по механике

Часть II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Молекулярная физика — раздел физики, в котором свойства вещества изучаются на основе его микроскопического (в частности, молекулярного) строения.

Наиболее последовательно и принципиально метод молекулярной физики рассматривается в статистической физике. Вот почему последнюю относят к фундаментальным физическим теориям. Её основные идеи изложены в первых темах школьного курса. Формирование статистических закономерностей остаётся одной из трудных задач методики обучения физике.

ГЛАВА VIII. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Название главы повторяет традиционное название главы учебника. Фактически начинают рассматриваться идеи статистической физики. Главное внимание следует уделить формированию следующих интеллектуальных и практических умений:

- понимать (знать содержание, аргументировать истинность примерами) основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ);

- объяснять основные свойства агрегатных состояний вещества его строением, движением и взаимодействием составляющих частиц;

- давать качественные и количественные оценки параметров молекул (размеры, масса, скорость движения, характер взаимодействия и др.) в различных агрегатных состояниях вещества, проводить простейшие расчёты;

- объяснять (по схеме) методы определения размеров молекул, скорости их движения.

При углублённом изучении целесообразно три первые темы объединить под названием «Статистическая теория идеального газа». В этом случае последовательнее рассматривается статистический метод.

Урок 1. Основные положения МКТ

Задачи урока:

познавательные: сформировать представление о структуре и содержании новой физической теории, организовать усвоение основных положений МКТ;

воспитательные: ввести понятия о статистическом и термодинамическом методах изучения свойств вещества, выяснить

различия тепловой и механической форм движения материи, показать практическое значение знаний по молекулярной физике;

развивающие: формировать мотивацию постановкой познавательных задач, раскрытием связи опыта и теории, формировать умение анализировать факты при наблюдении явлений, при работе с текстом учебника.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение: объект и предмет молекулярной физики	10—15	Рассказ учителя. Беседа. Работа с учебником
II. Основные положения МКТ	15—20	Демонстрация опытов. Беседа
III. Отработка изученного материала. Самостоятельная работа	10—15	Выполнение заданий
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—4	Ответы на вопросы. Сообщение учителя

I. Материал введения учитель объясняет, используя таблицу 15.

Таблица 15

Вид движения	Характеристика системы		
	Объект	Характер движения	Взаимодействие (тип и др.)
Механическое	Макротела	Перемещение в пространстве относительно других тел	Гравитационное. Электромагнитное (при соприкосновении тел)
Тепловое	Частицы, из которых состоит тело. Макросистема	Хаотичное движение частиц. Изменение параметров макросистемы: p , T , ...	Электромагнитное: а) между частицами макросистемы; б) между макротелами

Вопросы для организации беседы: какие физические объекты (системы) изучает молекулярная физика? Изучаются ли эти объекты в механике? Как различить механические и тепловые яв-

ния? Почему для описания поведения газа используется статистический метод? (Ответ. Нет возможности описать поведение каждой частицы законами механики...) Какой из двух методов исследования вещества позволяет глубже изучить свойства вещества? Приведите примеры тепловых явлений, происходящих в классе, дома, на улице. Каково значение тепловых явлений в природе и технике? Каково значение знаний по молекулярной физике для науки и техники?

При знакомстве со структурой молекулярной физики выделяют «что изучено» и «что будет изучаться», повторяют отдельные положения и формулировки. При работе с учебником учитель обращает внимание на построение раздела в целом, организует ответы на вопросы в конце первого параграфа, задаёт вопросы по рисункам и т. д.

II. Каково строение окружающего нас вещества — одна из самых фундаментальных и вечных проблем физики. Американский физик лауреат Нобелевской премии Р. Фейнман (1918—1988) писал: «Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтожены и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это — атомная гипотеза...» (Фейнмановские лекции по физике. — М. : Мир, 1976. — Т. 1—2. — С. 23). Вот каково значение знаний о строении вещества! В XIX в. на основе многолетних наблюдений явлений, формулировок гипотез и их опытной проверки были определены три наиболее принципиальных теоретических положения теории строения вещества.

1. **Вещество состоит из частиц.** Ещё в IV в. до н. э. греческий учёный Демокрит высказал гениальную гипотезу: «Всё состоит из атомов... вещи отличаются друг от друга атомами, из которых состоят, их порядком и положением...»

Какие же опытные факты говорят в пользу такого предположения? Во-первых, это возможность деления вещества. Встречали ли вы в своей жизни тела, которые нельзя разделить на части? Во-вторых, это броуновское движение, доказывающее реальность существования частиц вещества (молекул). Но это всё доказательства косвенные. Можно ли непосредственно наблюдать мельчайшие частицы вещества?

Опыт 1. Окрасивание жидкости. Почему небольшим кристаллом марганцовокислого калия можно окрасить воду? О чём свидетельствует проникновение одного вещества в другое? (Ответ. О существовании промежутков в веществе, т. е. о дискретном его строении.) О чём свидетельствует равномерность окраски раствора? О чём свидетельствует ослабление окраски по мере добавления воды?

Опыт 2. Определение размеров молекул. Почему на поверхности воды площадь пятна не увеличивается беспредельно при растекании капли масла? Как схематически (модельно) изобра-

зять результаты опыта (рис. 86)? Как оценить размеры молекул масла с помощью данного опыта? Много ли молекул в капле? Сложная ли это физическая система?

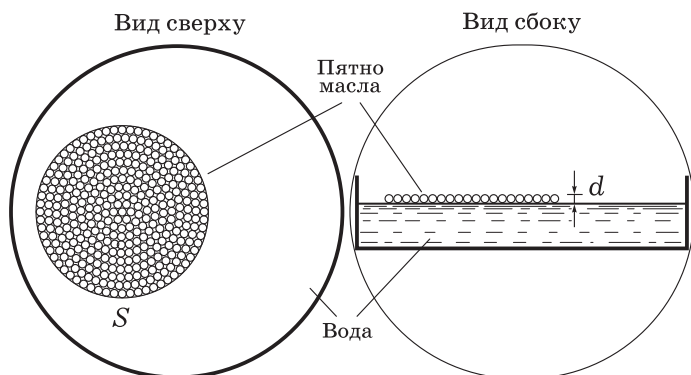


Рис. 86

2. Частицы вещества хаотично движутся.

Вопросы для обсуждения: какие частицы участвуют в броуновском движении? В чём заключается броуновское движение? Каковы характерные особенности этого явления? (Ответ. Хаотичность движения частицы, непрерывность, усиление движения с нагреванием, уменьшение эффекта с увеличением массы частицы.) Почему броуновская частица движется хаотично? Почему она не останавливается?

Назовём несколько вариантов демонстрации хаотичного движения частиц. Традиционно используется механическая модель. Эмоционально воспринимается опыт по наблюдению движения мелко раздробленных частиц керамического магнита, помещённых в стеклянный сосуд, который находится в переменном магнитном поле трансформатора.

Опыт 3. Диффузия в газе (жидкости). Проще всего осуществить распространение запахов одеколона, духов, нашатырного спирта. В проекции с помощью кодоскопа или оптической скамьи можно продемонстрировать диффузию частиц кристаллика марганцовокислого калия при его растворении в воде. (Заметим, что существует проблема исключения конвекции.)

Вопросы для организации беседы: как доказать, что в опыте наблюдается действительно проникновение частиц одного вещества в другое? Почему распространение запахов служит аргументом в пользу гипотезы о тепловом движении молекул? С одинаковой ли скоростью распространяются разные запахи? Как это доказать? Чем обусловлена скорость распространения запаха? Как хаотичный характер движения частиц влияет на распространение запаха? Приведите примеры проявления диффузии в природе, применения в быту и технике.

3. Частицы вещества взаимодействуют

Вопросы для организации беседы: что было бы, если бы частицы вещества не взаимодействовали? Одинаково ли взаимодействуют частицы вещества в разных агрегатных состояниях? Какие наблюдения в природе, технике, быту позволяют высказать утверждение о различии во взаимодействии частиц у разных веществ в разных состояниях? Как на основе МКТ объяснить, что для растягивания резинки, сгибания линейки, разрыва бумаги необходимо приложить усилие? Почему тонкую бумагу легко разорвать, а толстую нет? Как экспериментально доказать, что частицы вещества притягиваются и отталкиваются?

Опыт 4. Взаимодействие свинцовых цилиндров. Какие выводы о взаимодействии частиц позволяют сделать следующие условия проведения опыта: ровно зачищенные поверхности цилиндров, плотное с притиранием их соединение? На основе какого результата опыта можно судить о силах взаимодействия частиц? Почему в месте соединения из-за взаимодействия частиц вещества цилиндры всё же не превращаются в единое целое? Каковы общие выводы о взаимодействии частиц? (Важны схематические рисунки опыта.)

III. Самостоятельная работа по усвоению изученного может быть организована несколькими способами.

1. Организуют изучение известной работы М. В. Ломоносова «Размышления о причине теплоты и холода» (Хрестоматия, с. 41—43).

Примеры заданий: составить тезисный план (начать в классе, продолжить дома); перечислить аргументы Ломоносова в пользу существования движения частиц вещества; выделить положения работы, которые направлены против теории теплорода; оценить с современной точки зрения истинность (точность) аргументов Ломоносова.

2. С помощью учебника школьники коллективно (парами, по вариантам и т. п.) выполняют задания.

Примеры заданий: 1. Атомы и молекулы твёрдых тел участвуют в тепловом движении. Как при этом объясняется сохранение формы и объёма тел? 2. Привести примеры (составить таблицу) тепловых явлений в газах, жидкостях, твёрдых телах. 3. Почему в холодной воде сахар растворяется медленнее, чем в горячей? Относится ли к явлению диффузии растворение сахара в воде при её перемешивании? (О т в е т. Диффузия всё равно происходит, но гораздо сильнее действует фактор перемешивания.)

При подведении итогов урока вновь используют таблицы, повторяют ключевые вопросы.

IV. Домашнее задание: введение (с. 185—187), § 53.

Урок 2. Характеристики молекул. Решение задач

Задачи урока: продолжить ознакомление с физическими величинами, характеризующими молекулы; сформировать умение рассчитывать параметры молекул; показать связь теории и экс-

перимента при изучении молекул; способствовать формированию умения самостоятельно приобретать знания.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний. Постановка целей урока	5—7	Фронтальный опрос. Беседа
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ. Работа с таблицей. Записи в тетради
III. Самостоятельная работа	15—20	Решение задач. Консультация учителя. Взаимопомощь
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. *Вопросы для повторения:* что и как изучает молекулярная физика? Каковы основные положения МКТ? Можно ли экспериментально проверить истинность положений МКТ? Как доказать, что кусок сахара состоит из частиц? Как экспериментально доказать, что частицы сахара взаимодействуют? Как доказать, что частицы сахара движутся? (Ответ. Опыт по диффузии в твёрдых телах...) Почему, несмотря на взаимодействие частиц сахара, в горячей воде рафинад довольно быстро разваливается? На какие вопросы отвечают три положения МКТ?

Большинство веществ состоит из молекул, поэтому для объяснения свойств макроскопических объектов, объяснения и предсказания явлений важно знать основные характеристики молекул.

II. План изучения нового материала.

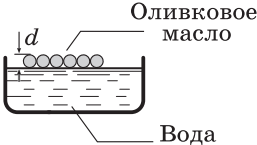
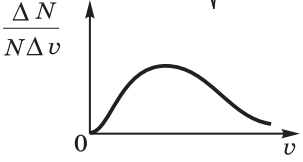
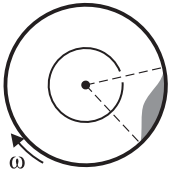
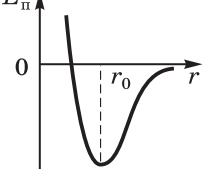
1. Каковы, на ваш взгляд, основные характеристики любых физических объектов? (Следует выбрать ответы: размеры, масса, скорость.) Они же характерны и для молекул.

Учитель рассказывает об оценке размеров молекул; ученики начинают заполнять таблицу 16, рассматривают рисунки учебника.

Вопросы для организации беседы: почему так важно экспериментально определять размеры молекул? (Ответ. Во-первых, потому что это способствует доказательству реальности существования молекул; во-вторых, потому что для выполнения расчётов некоторые физические величины (опорные) надо знать заранее, т. е. они должны быть получены экспериментально.) Какие параметры можно рассчитать, если известен диаметр молекулы? Какова последовательность действий при проведении эксперимента по оценке размеров молекул оливкового масла?

2. Размеры молекул очень малы. Для характеристики количества частиц вводится понятие **концентрации** — числа частиц в единице объёма. Прямыми экспериментами определить концентрацию молекул невозможно; при известных размерах (объём системы, объём частицы) оценка концентрации выполняется

Характеристики молекул

Параметр	Метод определения	
	теоретический	экспериментальный
Размеры	$d_0 = \frac{V}{S}, \quad d_0 \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ см}$	 <p>Оливковое масло</p> <p>Вода</p>
Концентрация	$N = \frac{1 \text{ см}^3}{\frac{\pi}{6} d^3 \text{ см}^3} \approx 3,7 \cdot 10^{22}$	Косвенно
Масса	<p>Для воды:</p> $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{1 \text{ г}}{3,7 \cdot 10^{22}} \approx 2,7 \cdot 10^{-23} \text{ г}$	Косвенно
Число Авогадро	$N_A = \frac{M}{m_0} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$	Опыт Перрена: от $6 \cdot 10^{23}$ до $7 \cdot 10^{23}$ молекул в 1 моль
Молярная масса	$M = m_0 N_A$	Косвенно
Скорость	<p>Максвелл</p> <p>Расчёт: $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$</p> 	Опыт Штерна 
Взаимодействие	<p>Приблизённо по расчётам:</p> $F_{\text{прит}} \approx -\frac{a}{r^7}$ $F_{\text{от}} \approx \frac{b}{r^{13}}$	<p>Качественно, на основе опытов:</p> 

просто. В каком случае такой расчёт правомерен? (Ответ. При плотном расположении частиц в веществе.)

3. Как рассчитать массу молекулы воды, если известна (измерена) масса капли и известно число молекул в капле? Можно ли на весах измерить массу молекулы?

Учитель вводит понятия **относительной молекулярной массы, количества вещества, постоянной Авогадро, молярной массы**. При этом используют учебник: выписывают формулы, зачитывают формулировки.

Вопросы для организации беседы: почему массу молекул выражают в относительных углеродных единицах? Почему так важно знать постоянную Авогадро? Чем различается 1 моль водорода и 1 моль кислорода? Одинаково ли число частиц в телах из разных веществ с одинаковой массой?

При изучении нового материала может быть поставлен опыт по оценке размеров молекул (ФЭ, с. 96). По Справочнику сравнивают размеры, массы различных молекул (с. 97). Интересно отметить, что размеры многих молекул примерно одинаковы.

Учитель объясняет решение двух типичных задач. Решение заранее подготовлено на доске или на экране. Школьники мысленно следят за ходом рассуждений, отдельные шаги решения проговариваются. В качестве примера можно взять задачи из учебника.

III. Примеры задач для самостоятельного решения: П., № 276, 281, 282.

IV. Домашнее задание: § 56, 57*; упр. на с. 193 (1, 2). Индивидуально может быть предложено исследование: оценить число молекул кислорода в одной из комнат. (На основе изучения литературы должен быть предложен метод, выполнены расчёты. 1) Число молекул может быть определено из формулы $pV = NRT$. Объём помещения и температура измеряются, парциальное давление кислорода оценивается по таблице Справочника (с. 103). 2) Следует исходить из того, что газ количеством вещества 1 моль занимает объём $22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Очевидно, что решение задачи требует новых знаний и рассчитано на несколько уроков.)

Урок 3. Характеристики движения и взаимодействия молекул

Задачи урока: конкретизировать представления школьников о движении и взаимодействии молекул.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и контроль изученного материала	7—10	Фронтальная беседа. Работа у доски

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Заполнение таблицы. Беседа. Записи в тетради
III. Совершенствование знаний и умений	15	Решение задач. Взаимопомощь. Контроль
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Повторение служит целям формирования знаний и умений. У доски двое школьников записывают решение задач (домашней и новой). Фронтально обсуждают *вопросы*: какие опытные факты подтверждают движение молекул? Какова причина хаотичного движения броуновской частицы? Как на основе МКТ объяснить исчезновение дыма в воздухе? На каком физическом явлении основано использование мазей в медицине? В чём преимущество ингаляции перед другими способами применения лекарства? Как на основе МКТ обосновать использование грелки?

II. Характер нового материала требует, с одной стороны, повторения и обобщения ранее изученного, с другой — изучения новых характеристик движения и взаимодействия молекул.

1. Изучение **броуновского движения** позволяет поставить и решить *учебную проблему* определения траектории движения молекул. (Школьники ещё при изучении курса механики должны уметь характеризовать движение частицы с помощью понятий о траектории, скорости, ускорении.) Какие предположения (гипотезы) о движении молекул можно высказать, если считать, что это движение аналогично движению броуновской частицы (учебник, рис. 8.3)? (Ответ. Направления движения и скорости хаотично меняются; это происходит в результате столкновения частиц; значение скорости меняется — об этом можно судить по длине прямолинейного участка траектории; движение частиц не прекращается.)

Для углублённого изучения броуновского движения целесообразно привести цитату из книги «Атомы» французского физика Ж. Перрена (1870—1942), который за исследования структуры вещества получил в 1926 г. Нобелевскую премию: «Движение молекул ускользает от нашего непосредственного восприятия, как лёгкая зыбь на поверхности моря для наблюдателя, находящегося на очень далёком расстоянии. Однако если в поле зрения того же наблюдателя видна лодка, то наблюдатель заметит, что она покачивается; это даёт ему указание на то, что на море есть лёгкое волнение, которого он и не подозревал» (Хрестоматия, с. 60). По учебнику рассматривают экспериментальный метод исследования Перрена.

Можно ли на основе изучения движения броуновской частицы определить значение скорости молекул? Как измерить скорость

молекул — очередная *учебная проблема* урока. Для её решения лучше всего использовать видеофрагмент, но реальнее рассказ с элементами беседы. Основное внимание необходимо уделить разбросу скоростей, наибольшему значению скорости, распределению частиц по скоростям. Условная схема опыта заносится в таблицу (см. табл. 16).

Рассмотрение опыта Штерна следует согласовать с соответствующим уроком. Лучшим вариантом, по нашему мнению, является краткое качественное рассмотрение опыта на данном уроке, подробное изучение опыта как экспериментального метода можно провести позднее. Подчеркнём, что принципиальнее и последовательнее изучить распределение молекул по скоростям в первой теме, для этого можно выделить целый урок.

2. Почему так важно как можно больше знать о взаимодействии частиц вещества? Зависят ли от взаимодействия молекул свойства, например, газа или жидкости? Что о взаимодействии молекул мы уже знаем?

Последовательность рассмотрения вопроса может быть следующей:

1) Между частицами вещества существует притяжение и отталкивание, у разных тел силы взаимодействия частиц разные. В частности, у твёрдых тел силы взаимодействия значительные — тело трудно как сжать, так и растянуть. Взаимодействие частиц вещества существует в разных агрегатных состояниях — опыт по отрыванию стеклянной пластинки от поверхности воды.

2) Молекула представляет собой нейтральную систему заряженных частиц: положительно заряженного ядра, отрицательно заряженных электронов. Заряженные частицы одной молекулы могут взаимодействовать с заряженными частицами другой молекулы. Таким образом, природа взаимодействия молекул электрическая. Единого закона взаимодействия молекул нет. Лучше всего это взаимодействие описать графиком потенциальной энергии (рис. 87). Для взаимодействия молекул характерно одновременно и притяжение, и отталкивание; на расстояниях $r < r_0$ доминирует отталкивание, на расстояниях $r > r_0$ — притяжение, причём оно быстро убывает. На расстоянии r_0 система двух молекул обладает минимумом потенциальной энергии — это состояние устойчивого равновесия. Оно аналогично состоянию равновесия шарика в чашке сферической формы. Чем меньше E_0 , т. е. чем глубже «яма», тем устойчивее состояние системы частиц.

Вопросы для обсуждения: как на основе МКТ объяснить возникновение силы упругости при сжатии тела? Как теоретически и экспериментально доказать, что при увели-

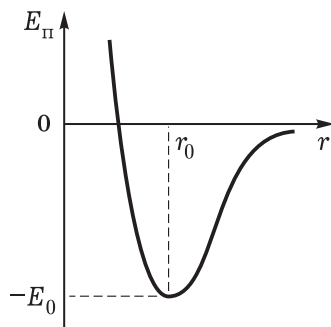


Рис. 87

чении расстояния между молекулами их взаимодействие ослабевает? Изменяется ли взаимодействие частиц при превращении жидкости в пар?

III. Рекомендуем решить задачи на повторение. Например: П., № 279, 285, 289.

IV. Домашнее задание: § 57*, 58; упр. на с. 193 (7, 8).

Урок 4*. Статистические закономерности. Решение задач

Задачи урока: продолжить формирование умения характеризовать молекулы и системы молекул физическими величинами; ввести понятие статистической закономерности, раскрыть её особенности и значение.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение. Постановка учебной проблемы	5—6	Обсуждение изученного. Формулировки учителя
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ. Беседа. Записи в тетради. Таблица
III. Отработка и усвоение изученного	15—20	Коллективное и самостоятельное решение задач
IV. Подведение итогов	3—5	Выделение главного учителем. Повторение
V. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Вопросы для организации повторения, углубления знаний по описанию физических систем, состоящих из многих частиц: какие физические системы изучаются в молекулярной физике? Изучает ли молекулярная физика движение книги в комнате? В чём заключается метод молекулярной физики? В чём причины невозможности использования законов механики для описания системы молекул? (Ответ. Невозможно определить начальные условия сразу для всех частиц; технически невозможно ни записать, ни решить систему уравнений для всех частиц; наконец, у системы частиц проявляются качественно новые закономерности поведения.) Оцените время, необходимое для записи системы уравнений механического движения для газа количеством вещества 1 моль. (Если условно принять, что на запись одного уравнения необходимо 5 с, то потребуется приблизительно 10^{18} лет!)

Статистическими называют закономерности поведения совокупности большого числа частиц.

II. Рассматриваемый материал является достаточно общим, абстрактным для школьников. Поэтому для его усвоения необ-

ходимо, во-первых, найти чёткие формулировки и простые иллюстрации, во-вторых, по возможности шире использовать полученные знания.

1. Прежде всего статистические закономерности формулируются для следующей модели физических объектов: это совокупность большого числа частиц, хаотично движущихся и взаимодействующих. Простейшей моделью вещества является модель газа, получившая название **идеальный газ**. Как строится эта модель? Это система материальных точек, хаотично движущихся, взаимодействующих при упругом столкновении, причём энергия газа состоит из кинетической энергии частиц. В школьном курсе физики закономерности молекулярной физики рассматриваются на примере именно этой модели.

2. При изучении поведения системы молекул (частиц) используются новые характеристики, в частности новые физические величины. В таблице 17 систематизированы ранее рассмотренные понятия. Какой вывод можно сделать? Система частиц приобретает новые качества, которые описываются новыми параметрами.

Вопросы для организации беседы: почему число Авогадро — постоянная величина? От чего зависит молярная масса разных веществ? Как охарактеризовать скорость движения частиц в системе? Как описать взаимодействие частиц системы? (Ответ. Прежде всего выясняют, сколько частиц одновременно взаимодействует: в газе — две, в жидкости — несколько ближайших частиц, в твёрдом теле существенно взаимодействие частицы со многими другими. Характер межмолекулярного взаимодействия примерно одинаков — типа «потенциальной ямы» (см. рис. 87). В идеальном газе взаимодействие двух частиц-точек происходит мгновенно в точке соударения; при малой плотности газа, больших расстояниях между частицами взаимодействием на расстоянии пренебрегают.)

3. Качественно новое поведение системы частиц требует новых законов для описания. Не все закономерности так глубоко, как хотелось бы, можно изучить в школьном курсе. Но выделим главное.

1) Система частиц из-за хаотичного характера их движения самопроизвольно переходит в стационарное равновесное состояние. В равновесном состоянии макроскопические параметры, такие как давление и температура, постоянны во всех частях системы. У тепловых явлений, в отличие от механических, наблюдается необратимость их протекания. Чем это обусловлено? Хаотичным, т. е. тепловым, движением частиц. Одинаковы ли в равновесном состоянии микроскопические характеристики, т. е. характеристики частиц? (Ответ. Нет. Например, скорости частиц разные, но распределение скоростей — распределение Максвелла — сохраняется во времени.)

2) Система частиц из-за хаотичного характера их движения в равновесном состоянии имеет постоянное распределение

Характеристика одной молекулы	Характеристика системы молекул
Диаметр d	Объём вещества V
Объём молекулы $V = \frac{4\pi r^3}{3}$	Число молекул в одном моле $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ Число молекул N $N = N_A \nu$
Масса молекулы m_0 Относительная молекулярная масса $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}$	Масса вещества m $m = m_0 N = m_0 N_A \nu$ Молярная масса $M = m_0 N_A$
Скорость молекулы v	Распределение молекул по скоростям 
Взаимодействие одной молекулы с другой 	Взаимодействие молекулы одновременно с двумя другими 

скоростей — распределение Максвелла. При разных температурах распределение разное (рис. 88).

Итак, статистическая закономерность отражает ситуацию возникновения «порядка из хаоса»; случайный характер взаимодействия частиц, изменения их скоростей приводит в итоге к постоянному во времени распределению скоростей частиц системы.

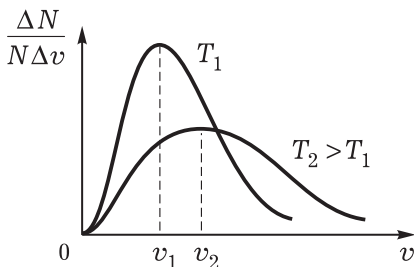


Рис. 88

Проиллюстрировать появление закономерности поведения системы частиц можно на примере модельного опыта с доской Гальтона (рис. 89). Случайный характер взаимодействия дробинки и стержней приводит к их определённому координатному распределению. Случайный характер ударов молекул о стенку приводит к постоянному давлению (учебник, рис. 9.1).

Для выяснения вероятностного характера статистических закономерностей обсуждают *вопросы*: какую скорость может иметь частица системы (см. рис. 88)? Какую скорость она, вероятнее всего, будет иметь? Какие скорости имеет большинство молекул в системе? Применима ли статистическая закономерность к одной частице?

3) Система частиц, находящаяся в равновесии, с равной вероятностью может находиться в любом из возможных состояний.

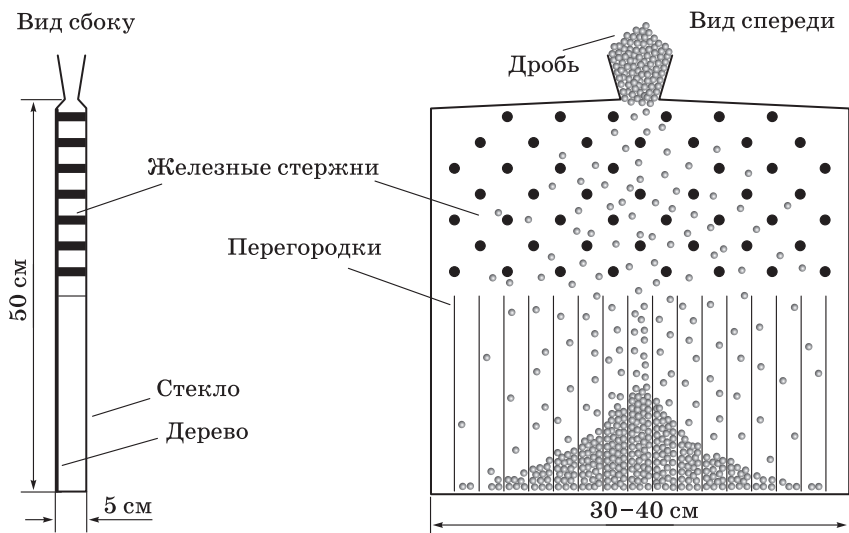


Рис. 89

1• •2	3• •2	2• •1
•3	•1	•3
3• •1	1• •3	2• •3
•2	•2	•1

Рис. 90

Данная закономерность (постулат) является основным положением статистической физики. Она может быть рассмотрена при углублённом изучении курса. Для этого вводят понятие о вероятности. На примере системы из трёх частиц постулат можно проиллюстрировать следующим

образом: все шесть возможных состояний системы равновероятны (рис. 90). Здесь учтено лишь состояние системы, связанное с расположением частиц, но аналогичное наблюдается и со скоростями.

III. Для характеристики системы частиц используют как микропараметры, так и макропараметры; последние описывают систему в целом. Продолжение изучения характеристик молекул возможно при решении задачи.

Определите линейные размеры молекул воды и золота.

Анализ физического явления. Даны два физических объекта: а) молекула воды; б) молекула золота. Постоянные величины считаются известными.

Идея решения. Определить объём молекулы, зная массу и объём вещества количеством 1 моль; по объёму определить диаметр молекулы, считая, что её форма — шар.

Решение. Для воды количеством вещества 1 моль имеем $M \approx 0,018$ кг, отсюда объём $V = \frac{M}{\rho} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$. Объём одной молекулы

$$V_0 = \frac{V}{N_A} \approx \frac{1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{6,02 \cdot 10^{23}} \approx 3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3.$$

Для диаметра молекулы воды получается значение, примерно равное $3 \cdot 10^{-10}$ м. Подобный расчёт для золота даёт значение $2,8 \cdot 10^{-10}$ м.

Анализ решения. Идея решения задачи справедлива при условии расположения молекул в плотную. Расчёт носит характер оценки. Интересно, что размеры молекул примерно одинаковы.

У доски один из школьников решает задачу по определению числа атомов алюминия в алюминиевой ложке, класс самостоятельно решает задачу: П., № 288.

IV. Вопросы для подведения итогов: поведение каких систем описывается статистическими закономерностями? Какие из перечисленных величин относятся к микропараметрам, а какие — к макропараметрам: масса молекулы, число Авогадро, молярная масса, скорость молекулы, плотность? Прочитайте и прокомментируйте формулировки двух приведённых статистических закономерностей. Можно ли согласно второй закономерности знать скорость данной конкретной частицы?

Общий вывод: новые физические системы, представляющие собой совокупность большого числа хаотично движущихся частиц, обнаруживают новые закономерности поведения.

У. Домашнее задание: записи в тетради; П., № 287. Индивидуально предлагаются экспериментальные задачи.

1. Определите число молекул воды, налитой в мензурку (стакан).

Указание. Первый вариант решения: определить молярную массу; измерив массу воды, найти число молей; рассчитать число молекул. Второй вариант решения: зная относительную молярную массу и массу атома углерода, определить массу молекулы воды, а затем и число молекул после измерения массы воды.

2. Оцените время, за которое запах одеколона (другого вещества) дойдёт до вас. Определите скорость распространения запаха и сравните её со скоростью движения молекул газа. Объясните на основе МКТ ослабление запаха одеколона с увеличением расстояния.

Указание. Для сравнения следует взять скорость молекул кислорода (Справочник, с. 98).

Урок 5*. Решение задач

1. Необходимо разнообразить приёмы повторения и контроля знаний: решение у доски одной из домашних задач; устный ответ у доски учителю, например о характеристиках молекул; отчёт о выполнении домашнего экспериментального задания (ученик заранее предупреждён); фронтальное повторение основных теоретических положений.

Вопросы для повторения: из каких частиц состоит вещество? Что такое молекула? Каковы основные свойства теплового движения молекул? (Ответ. Непрерывность, хаотичность, различие скоростей, постоянное распределение скоростей...) Почему скорости молекул различны? Как доказать, что молекулы газа каждую секунду испытывают многочисленные столкновения? (Ответ. При нормальных условиях молекулы испытывают порядка 10^9 столкновений в секунду.) Можно ли движение пылинки в воздухе считать броуновским?

II. Примеры задач для решения на уроке.

1. Оцените общий объём молекул и объём «пустоты» в стакане с водой. В качестве модели молекулы выберите шарик радиусом 0,14 нм. Плотны ли расположены молекулы жидкости? Объём стакана воды 0,2 л, или $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, молярная масса воды $18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

2. Молекула газа каждую секунду испытывает $5 \cdot 10^9$ столкновений с другими частицами. Чему равна средняя длина свободного пробега молекулы, если средняя скорость её движения 500 м/с?

3. Оцените число частиц в капле воды.

III. Домашнее задание: П., № 290. Индивидуально — задание: оценить число частиц, которые вылетают в секунду при

варке супа; пронаблюдать и описать диффузию жидкостей в стакане: густой раствор сахара или соли налит до 0,5—0,75 объёма стакана, сверху осторожно добавлен крепкий настой чая (возможны и другие проекты); оценить энергию межмолекулярного взаимодействия, считая, что удельная теплота парообразования идёт на разрушение связи частиц (масса воды 1 кг, молярная масса воды $18 \cdot 10^{-3}$ кг, удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг, число Авогадро $6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹).

Урок 6. Свойства вещества на основе молекулярно-кинетических представлений

Задачи урока: сформировать умение применять МКТ для объяснения существования агрегатных состояний вещества.

План урока

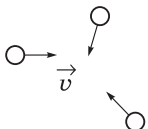
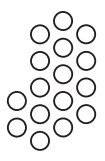
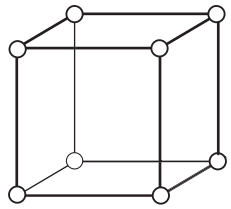
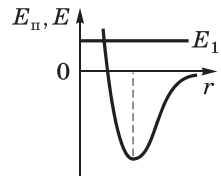
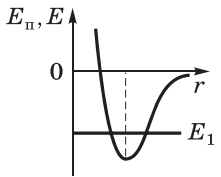
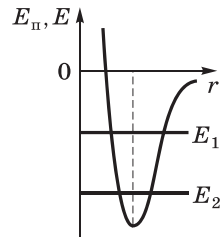
Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение. Постановка учебной проблемы	5—7	Беседа
II. Изучение нового материала	15—20	Работа с учебником. Заполнение таблицы. Ответы на вопросы. Опыты
III. Совершенствование и контроль знаний	15—20	Решение задач. Письменный опрос
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Вопросы для организации беседы: в чём причина появления нового раздела физики — молекулярной физики? Каковы основные положения МКТ? К любым ли физическим объектам они применимы? Каковы особенности движения физических систем, состоящих из большого числа частиц? Можно ли объяснить свойства вещества во всех его агрегатных состояниях строением (составом), движением и взаимодействием частиц?

II. Изучение нового материала организуется по учебнику. На доске подготовлена форма таблицы 18. После прочтения части текста организуется беседа, ставятся или обсуждаются опыты, делаются записи в таблицу.

Сначала рассматривается газ. **Вопросы для организации беседы:** как доказать, что газ представляет собой совокупность частиц? Как доказать на опыте, что расстояние между молекулами газа во много раз больше размеров молекул? (Ответ. Сжатие воздуха доказывает наличие больших расстояний между молекулами.) Какие экспериментальные факты можно привести в подтверждение гипотезы о хаотичном движении частиц газа с большими скоростями? Почему газы сравнительно легко распространяются? Взаимодействуют ли частицы газа?

Агрегатные состояния вещества

Строение	Газ	Жидкость	Твёрдое тело
			
Движение	Хаотичное движение с большими скоростями — сотни метров в секунду	Колебательное движение, перескок в новое положение и т. д.	Колебательное движение
Взаимодействие	<p>$E > 0$</p> <p>Взаимодействие при столкновении: упругое отталкивание</p> 	<p>$E < 0$</p> <p>При перескоке полная энергия больше нуля за счёт энергии соседних частиц, действия внешних сил</p> 	<p>$E < 0$</p> <p>Глубина «ямы» больше, чем у частиц жидкости. При понижении температуры полная энергия уменьшается; $E_2 < E_1$ — положение частицы устойчивее</p> 

Какие свойства газа объясняются существованием взаимодействия частиц? Как экспериментально доказать, что давление газа — результат действия молекул на стенку сосуда? (О т в е т. Распирение камеры футбольного мяча под колоколом воздушного насоса.)

Далее рассматривают **жидкость**. *Вопросы:* меняется ли состав вещества при переходе газа в жидкость? Влияет ли на свойства вещества изменение расстояний между частицами? Какие новые свойства можно предсказать при почти плотном расположении частиц (см. табл. 18)? Какие свойства жидкости объясняет новый характер движения частиц вещества? (О т в е т. Текучесть, форму жидкости, совпадающую с формой сосуда.) Что можно сказать о взаимодействии частиц жидкости? (О т в е т. Взаимодействие состоит в притяжении и отталкивании частиц на расстоянии; потенциальная энергия взаимодействия частиц больше кинетической энергии; нет свободного, т. е. прямолинейного и равномерного, движения частиц — всегда есть взаимодействие; взаимодействует сразу несколько ближайших частиц вещества.) Чем жидкости могут различаться согласно МКТ?

Затем рассматривают **твёрдое тело**. *Вопросы:* какие изменения в структуре вещества происходят при его переходе из жидкого состояния в твёрдое? Почему частицы твёрдого тела находятся на определённых местах? Чем это обусловлено? (О т в е т. Взаимодействием частиц; каждая частица находится в большей «потенциальной яме», т. е. на неё действует большее число частиц, чем в жидкости; её положение более устойчиво, так как возникает дальний порядок.) Как можно охарактеризовать взаимодействие частиц твёрдого тела? (О т в е т. Существует притяжение и отталкивание частиц; потенциальная энергия взаимодействия частиц больше их кинетической энергии (больше, чем у жидкости); при движении частицы сила взаимодействия меняется по модулю и направлению; между собой одновременно взаимодействует большее число частиц, чем в жидкости.) Почему в воду можно опустить руку, а в твёрдое тело, например в дерево или металл, нельзя? (О т в е т. Под действием внешней силы (действия руки) молекулы воды перескакивают на новые места, давая возможность руке продвинуться. В твёрдом теле взаимодействие частиц значительно, разорвать связи действием руки в большинстве случаев невозможно; разорванные связи, например при ударе по линейке, не восстанавливаются.) Как на основе МКТ объяснить сохранение формы и размеров твёрдого тела?

III. Решение задач организуется для разных групп учащихся по-разному.

1. Несколько школьников письменно по вариантам отвечают на вопросы и выполняют задания.

Вариант 1

1. Какие явления называют тепловыми? Приведите примеры.
2. Перечислите основные характеристики молекулы.

3. Изобразите траекторию броуновской частицы. Какие выводы и почему можно сделать из её вида?

Вариант 2

1. В чём суть метода изучения явлений в молекулярной физике? Почему он необходим?
2. Перечислите основные характеристики системы молекул.
3. Изобразите график энергии взаимодействия двух молекул. Используя график, сделайте выводы о характере взаимодействия.
2. Группа школьников решает задачи. Приведём примеры задач.

1. Определите количество частиц воздуха в классной комнате (размеры даны или требуется их оценить, измерить) при нормальных условиях. Молярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
2. Можно ли частицы воздуха, находящиеся в комнате (размеры даны), поместить в стакан, если их расположить плотно друг к другу?
3. Почему согласно МКТ мелом можно чертить на доске? Почему даже с небольшой высоты опасно прыгать в воду плашмя? Почему, для того чтобы весь чай быстро стал сладким, его помешивают? Почему диффузия в жидкостях происходит медленнее, чем в газах? Чем объяснить неограниченное расширение газов?

3. Остальные школьники самостоятельно решают задачи; им предлагается весь объём работы вместе с домашним заданием. Можно продолжить решение задач у доски.

IV. Домашнее задание: § 59; упр. на с. 193 (4, 5).

ГЛАВА IX. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Материал данной главы представлен в учебнике в двух темах, но, с нашей точки зрения, все эти сведения объединены одной и самой простой моделью вещества — идеальным газом. Причём содержание естественно вписывается в логику «факты — модель — следствия». Последовательность рассмотрения материала полностью соответствует учебнику.

В итоге предполагается формирование следующих умений:

— излагать материал темы по логике «факты — модель — следствия»; отличать факты от моделей, а следствия от гипотез; определять границы применимости модели «идеальный газ», газовых законов; выдвигать гипотезы для объяснения изопроцессов;

— приводить факты (опыты, результаты наблюдений) в подтверждение основных положений МКТ, основного уравнения МКТ, справедливости модели «идеальный газ» и др.; объяснять газовые законы на основе положений МКТ;

— описывать состояние идеального газа и изопроцессы в нём, в том числе определять микро- и макропараметры газа; давать и объяснять графическое изображение процессов;

— измерять температуру, объём, давление с учётом погрешностей; планировать и проводить опыты по наблюдению изотермического и изобарного процессов.

Урок 1. Основное уравнение МКТ идеального газа

Задачи урока: углубить представления о модели «идеальный газ»; на основе принципов молекулярной физики вывести основное уравнение МКТ идеального газа; показать статистический характер полученного закона.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка учебной проблемы. Изучение нового материала	30	Сообщение учителя. Фронтальные вопросы. Рассказ. Беседа. Работа с учебником. Записи в тетради
II. Отработка знаний	10—15	Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного

I. Наука формулирует законы для моделей, и если стоит задача изучить поведение газов, то надо сначала построить их модели. Для газа у нас введена модель «идеальный газ». (Повторение и углубление понятий с использованием учебника — с. 200—201.)

1. Обсуждают *вопросы*: зачем создаётся модель газа? Как объясняется давление газа с помощью модели «идеальный газ» и на основе положений МКТ?

Формулируют следующую *учебную проблему* урока: получить закон, объясняющий давление газа на основе представлений МКТ.

2. **Исходные положения** (идеи, гипотезы) для нашего вывода:

а) модель газа — идеальный газ;

б) из-за хаотичности движения частиц нет выбранного направления, т. е. в среднем число частиц по любому направлению декартовой системы координат одинаково;

в) состояние газа (макропараметры) одинаково во всех его частях; давление $p = \frac{\bar{F}}{S}$ определяется действием частиц газа при соударении со стенкой сосуда.

3. **Вывод уравнения.** Проблема описания движения частиц газа в том, что большую совокупность хаотично движущихся частиц обычными физическими величинами нельзя охарактеризовать. Вводится понятие о средней квадратичной скорости как характеристике всех частиц, а также понятие о средней кинетической энергии частиц газа.

4. При использовании учебника организуют вывод основного уравнения МКТ $p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2$ (делаются записи в тетради).

Вопросы для организации беседы: почему полученный закон называют статистическим? (Ответ. Он устанавливает связь между макропараметром всей системы и микропараметрами частиц, устанавливает «порядок из хаоса».) Применимо ли это уравнение для одной частицы? Если закон сформулирован, то какие следствия, касающиеся поведения газа, можно предсказать на основе этого закона?

II. Отработка организуется по следующему плану: а) проведение модельного опыта (ДЭ, с. 127—128); б) решение задач: П., № 292, 296.

III. *Вопросы для подведения итогов:* что устанавливает основной закон МКТ идеального газа? Справедлив ли закон для небольшого числа частиц? Какие физические характеристики газа мы можем на основе этого закона определить?

Домашнее задание: § 60; упр. на с. 204 (ЕГЭ).

Урок 2*. Решение задач

Задачи урока: сформировать умение применять знания МКТ идеального газа при решении конкретных задач.

I. В начале урока повторяется изученный теоретический материал.

1. Учащиеся письменно отвечают на *вопросы*: каковы смысл и значение основного уравнения МКТ идеального газа? Как получить уравнение идеального газа?

2. Решение задач из § 61*.

3. Фронтальный опрос. При наличии подходящих тестов теорию можно повторить по ним.

II. Самое главное — при решении задач обеспечить активность школьников. Для этого следует сочетать индивидуальное и коллективное решение, использовать элементы соревнования, чётко контролировать и оценивать работу. Приведём примеры задач.

1. Определите концентрацию молекул кислорода, если при давлении 0,2 МПа средняя квадратичная скорость молекул равна 700 м/с.

2. Почему не плавится искусственный спутник Земли, хотя на высоте 1000 км температура воздуха несколько тысяч градусов?

Задачи: П., № 297, 298, 299.

III. *Домашнее задание:* упр. на с. 206 (1, 2).

Урок 3. Температура как макроскопическая характеристика газа

Задачи урока: углубить представления о макро- и микропараметрах идеального газа; ввести понятие о тепловом равновесии и определение температуры; установить связь между температурой газа и средней кинетической энергией молекул газа.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	5—7	Фронтальные вопросы
II. Изучение нового материала	25—30	Рассказ. Беседа. Работа с учебником. Опыт. Записи в тетради
III. Отработка знаний	10	Решение задач
IV. Подведение итогов	2—3	Выделение главного
V. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Повторение заключается в проверке решения домашних задач, фронтальном обсуждении *вопросов*: какие физические системы мы изучаем? Какими параметрами их характеризуем?

II. Изучение нового материала следует логике учебника.

1. Повторение и углубление представлений о макро- и микропараметрах газа. *Вопросы для обсуждения*: какие макрохарактеристики используются для описания состояния данного газа? Какие характеристики газа можно считать более фундаментальными?

2. **Тепловым равновесием** называют состояние системы, при котором все макроскопические параметры остаются неизменными. *Вопросы для организации беседы*: изменяется ли масса системы при тепловом равновесии? Происходит ли теплообмен между системами при их тепловом равновесии? Происходит ли изменение микропараметров при тепловом равновесии системы? Находится ли вода в стакане в тепловом равновесии со стаканом? В чём состоит механизм установления теплового равновесия систем с точки зрения МКТ?

3. **Особенности температуры** как макроскопической характеристики газа: а) изменяется при изменении состояния газа; б) характеризует состояние теплового равновесия системы; в) указывает направление теплообмена между системами; г) может быть измерена.

Следует рассказ по плану: принцип измерения температуры; идеальная газовая шкала температур; жидкостный термометр; температура в градусах Цельсия; правила измерения; погрешности. У доски школьник решает проблему: можно ли за секунду данным прибором измерить температуру воды в стакане? *Вопросы для организации беседы*: в каких случаях труднее измерить температуру? Можно ли считать, что тела в классе находятся в тепловом равновесии? (Ответ. Нет.) Почему? Влияет ли время измерения на погрешности измерения?

4. Далее основной является следующая *учебная проблема*: можно ли температуру газа определить через микроскопические параметры.

Сначала докажем справедливость гипотезы о том, что при тепловом равновесии средняя кинетическая энергия молекул любого газа одинаковая. Из уравнения $p = \frac{2}{3}n\bar{E}$ с учётом выражения для концентрации получаем $p\frac{V}{N} = \frac{2}{3}\bar{E}$. Если экспериментально доказать, что выражение в левой части для газов, находящихся в равновесии, одинаково, то тогда одинакова и средняя кинетическая энергия частиц. Действительно, в опытах так и получилось (рис. 9.4 учебника). Постоянная для данного теплового состояния величина $\frac{pV}{N}$ может рассматриваться как мера температуры θ . Очевидно, что выражается она в джоулях. Считают, что $\theta = kT$, где k — постоянная Больцмана.

По учебнику на основе выражения $\frac{pV}{N} = kT$ определяют абсолютный нуль температуры, выбирают абсолютную шкалу температур.

5. Легко видеть, что при $\frac{pV}{N} = kT$ с учётом основного уравнения $p = \frac{2}{3}n\bar{E}$ выражение связи температуры и средней кинетической энергии молекул газа будет следующим: $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$. Можно ли на основе этого соотношения считать температуру микроскопическим параметром? (Ответ. Нет, но по температуре газа можно судить о средней кинетической энергии молекул.)

III. Школьник у доски с помощью учителя решает задачу.

Определите плотность азота при температуре 27°C и давлении 100 кПа .

IV. Вопросы для выделения главного: что характеризует температура? Является ли температура микропараметром газа? (Ответ. Нет.) Каков смысл температуры согласно МКТ? Есть ли границы применимости у этого понятия при описании систем? Чем различаются разные шкалы измерения температуры?

V. Домашнее задание: § 62—63; П., № 306.

Урок 4*. Решение задач

В начале урока повторяют домашнее задание, но одновременно у доски один из школьников решает новую типовую задачу.

1. На сколько процентов увеличится средняя кинетическая энергия молекул газа при его нагревании от 7 до 27°C ?

Трудности данного урока связаны не только с организацией деятельности школьников, но и с подбором задач. Для ориентира предлагаем несколько задач.

2. Как и почему изменятся показания жидкостного манометра, если в колбу капнуть несколько капель спирта (рис. 91)?

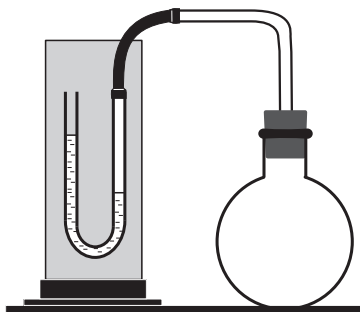


Рис. 91

3. Сколько молекул содержится в кислороде массой 1 кг? Чему равно давление азота при плотности $1,6 \text{ кг/м}^3$, если средняя квадратичная скорость его молекул 500 м/с ?
4. При нагревании воды температура повысилась на 40°C . Выразите изменение температуры воды в кельвинах. Можно ли термометром измерить температуру воздуха на высоте 100 км? Почему?

Домашнее задание: упр. на с. 215 (ЕГЭ); П., № 307, 308.

Урок 5*. Экспериментальный метод определения скоростей молекул газа

Задачи урока: раскрыть особенности экспериментального метода; рассмотреть статистическое распределение молекул по скоростям как частный пример статистической закономерности.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10—15	Проверка домашнего задания
II. Изучение и отработка нового материала	20—25	Рассказ. Беседа. Работа с учебником. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Выделение главного. Запись на доске

I. В зависимости от условий и традиций повторение планируется с помощью следующих приёмов: а) письменный опрос по теории — определение температуры, связь температуры и средней кинетической энергии молекул; б) обсуждение решения домашних задач; в) проверка теории с помощью тестов.

II. Изучение нового материала можно провести в следующей последовательности.

1. *Постановка учебной проблемы.* В физике разрабатывается большое количество расчётных формул, они сильно упрощают изучение свойств различных объектов — от звёзд до атомов. Их получают на основе идей, моделей, гипотез. Но постоянно справедливость теории проверяется экспериментом. Есть ли возможность измерить скорость молекул? И совпадут ли данные эксперимента с расчётными?

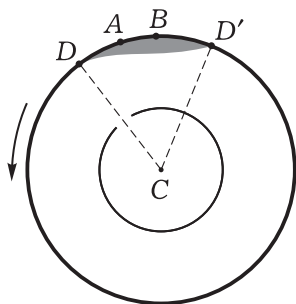


Рис. 92

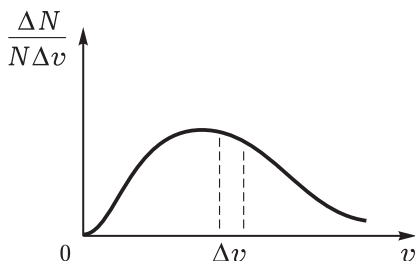


Рис. 93

2. Метод опыта Штерна изучается по учебнику с использованием рисунка 9.7 учебника. Обсуждаются *вопросы*: почему из цилиндра выкачивают воздух? Скорость каких атомов определяется? Одинаковая ли скорость атомов? В чём это выражается? (На доске выполнен рисунок 92.) В каких областях внешнего цилиндра — А или В — оказались наиболее быстрые атомы серебра? Выскажите предположение, зависит ли вид полоски осевшего на цилиндре серебра от температуры нити накала.

3. Получение расчётной формулы, её интерпретация. Распределение молекул по скоростям было теоретически получено Максвеллом в 1860 г., задолго до опытов Штерна (рис. 93). Рассматривается теоретическая зависимость, которая в точности подтвердилась экспериментально. Делаются общие выводы.

4. Решается несколько простых задач: а) упр. на с. 218; б) как можно интерпретировать размытость полоски серебра на цилиндре в опыте Штерна?

III. Домашнее задание: § 64*; упр. на с. 218 (ЕГЭ).

Урок 6. Уравнение состояния идеального газа.

Решение задач

Задачи урока: получить уравнение Менделеева—Клапейрона; сформировать умение рассчитывать параметры газа с помощью этого уравнения.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	15	Письменный опрос
II. Изучение нового материала	10—15	Рассказ. Беседа. Работа с учебником. Записи в тетради
III. Отработка знаний	15	Решение задач
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного. Запись на доске

I. Школьники предупреждены о проведении контроля знаний по теории. Предлагаем по вариантам следующие *вопросы*:
1*. Идея и схема опыта Штерна. Трудности и результаты опыта.
2*. Распределение молекул по скоростям. Особенности статистических закономерностей.

II. Учитель кратко излагает новый материал. По ходу вывода уравнения $pV = \frac{m}{M}RT$ обсуждают *вопросы*: как определяется концентрация газа? В каких единицах она измеряется? Можно ли универсальную газовую постоянную считать фундаментальной постоянной? Что описывает уравнение Менделеева—Клапейрона: состояние идеального газа или состояние газа?

III. Предлагается образец решения задачи на использование уравнения состояния идеального газа. Ученик с помощью учителя решает её у доски.

1. Определите массу водорода, находящегося в баллоне вместимостью 20 л под давлением 830 кПа при температуре 17 °С.

Анализ физического явления. Объект изучения — газ. С ним ничего не происходит, т. е. он находится в равновесном состоянии. (Иначе невозможно было бы говорить о его давлении и температуре.)

Идея или план решения. Можно ли воспользоваться для описания состояния газа моделью «идеальный газ»? На этот вопрос нет прямого ответа. Но какой у нас выход? Можно высказать предположение, что идеальный газ как модель для нас подходит. А при решении посмотрим, будут ли противоречивы следствия.

Решение. Из уравнения состояния прямо выражается масса, значения переводятся в систему СИ, выполняется расчёт. Получаем ответ: $m = 14$ г.

Анализ решения. Числовое значение массы получилось в разумных пределах. При верном вычислении это говорит о правомочности использования модели «идеальный газ» для описания нашего газа. Окончательным аргументом в выборе модели является практика. Но в нашем случае мы не знаем, такова ли была масса газа на самом деле. Как вы думаете, больше она или меньше?

Ученики самостоятельно решают задачу.

2. Чему равен объём идеального газа, взятого количеством 1 моль, при нормальных условиях ($T = 273$ К, $p = 101\,325$ Па)?

IV. *Вопросы для выделения главного*: что мы сегодня изучили? Какой физический объект рассматривали? (Ответ. Газ.) Какую модель использовали? (Ответ. Идеальный газ.) Как получили уравнение для состояния идеального газа? Можно ли называть уравнение Менделеева—Клапейрона законом?

Домашнее задание: § 66; упр. на с. 223 (ЕГЭ).

Урок 7. Газовые законы. Решение задач

Задачи урока: ввести понятие об изопроцессе; получить газовые законы, доказать их справедливость экспериментом; сформировать умения выделять и описывать изопроцессы.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка учебной проблемы	3—4	Сообщение учителя. Фронтальный опрос
II. Изучение нового материала	25—30	Рассказ. Беседа. Опыты. Работа с учебником. Записи в тетради
III. Отработка знаний	10—15	Решение задач
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Выделение главного. Запись на доске

I. Повторяется решение задач, фронтально — основные вопросы теории.

II. Приведём последовательность изучения нового материала.

1. Учитель даёт определение **изопроцесса** как процесса изменения состояния газа при неизменном значении одного из его параметров. Обсуждаются *вопросы*: какие это могут быть параметры? Каковы причины изопроцессов? (О т в е т. В общем случае — внешние действия на систему, т. е. совершение работы, сообщение энергии.)

2. **Изотермический процесс**: определение, получение уравнения, графическое описание процесса, эксперимент (ДЭ, с. 109 и др.), из истории открытия. *Вопросы для организации беседы*: какие параметры газа остаются постоянными при изотермическом процессе? Как эти условия обеспечиваются в опыте с сильфоном? Почему согласно МКТ при уменьшении объёма растёт давление газа? (О т в е т. Согласно формуле $p = nkT$ при увеличении концентрации растёт давление.)

3. **Изобарный процесс** (аналогично). *Вопросы для обсуждения*: сколько процессов изображено на рисунке 10.2 учебника? Как доказать, что $p_2 > p_1$? Как с помощью сильфона можно экспериментально проверить выполнимость закона Гей-Люссака?

4. **Изохорный процесс**. *Вопросы для обсуждения*: можно ли график изохоры (рис. 10.3 учебника) проводить из начала координат? Почему?

III. Рекомендуем рассмотреть простые задачи.

1. Какой процесс происходит с газом, график изменения состояния которого изображён на рисунке 94? Каковы параметры начального и конечного состояний процесса? Сколько вообще было состояний газа? (Неопределённо много.) Как изобразить этот процесс в координатах pT и VT ?

2. Можно ли предсказать, какой объём будет занимать газ при температуре 77°C , если при температуре 27°C его объём составляет 6 л? Как это сделать?

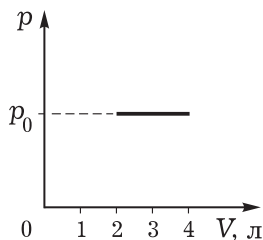


Рис. 94

IV. Вопросы для подведения итогов: можно ли считать газовые законы следствием из уравнения состояния идеального газа? Применимы ли газовые законы для смеси газов? Каковы границы применимости газовых законов?

Домашнее задание: § 68, 69*; упр. на с. 232 (1, 2, индивидуально — задачи из ЕГЭ).

Урок 8*. Решение задач

Учитель подбирает традиционные задачи. Для индивидуального решения рекомендуем следующие задачи.

1. Газ из состояния 1 надо перевести в состояние 2 (рис. 95). Предложите процессы, с помощью которых это можно сделать.
2. Объём пузырька воздуха по мере всплывания его со дна озера на поверхность увеличился в три раза. Определите глубину озера. При решении выполните рисунок.
3. Как и на сколько изменится масса воздуха в комнате объёмом 200 м^3 при повышении температуры на 20°C при нормальном атмосферном давлении, равном $101\,325 \text{ Па}$?

В конце урока (15 мин) проводится тренировочная **самостоятельная работа**.

Вариант 1

1. Объём газа при постоянной температуре изменился от 4 до 6 л, а давление изменилось на $0,75 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Чему было равно первоначальное давление?
2. Какой процесс изображён на графике (рис. 96)? Как его следует изобразить в других координатах?

Вариант 2

1. Какие процессы изображены на графике (рис. 97)? Представьте эти процессы в координатах $p-T$ и $V-T$ и укажите направления их хода.
2. Определите массу воздуха в воздушном шарике объёмом 2000 см^3 при температуре 27°C и нормальном атмосферном давлении, равном $101\,325 \text{ Па}$. Молярную массу воздуха считайте равной $0,029 \text{ кг/моль}$.

Домашнее задание: § 70*; упр. на с. 232 (3), на с. 235 (1).

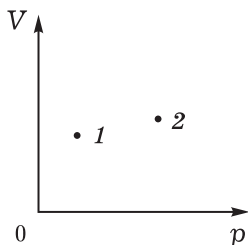


Рис. 95

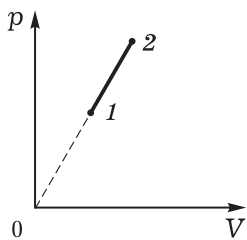


Рис. 96

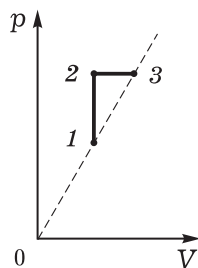


Рис. 97

Урок 9. Лабораторная работа «Опытная проверка закона Гей-Люссака»

Работа проводится по инструкции учебника.

Приведём примеры дополнительных заданий. 1. Приведите аргументы, которые доказывают справедливость использования модели «идеальный газ» в данной работе. 2. Какие гипотезы (предположения) вы использовали при выполнении работы?

Домашнее задание: П., № 349; предложить проекты определения массы воздуха в комнате.

Урок 10*. Решение задач. Обобщение знаний

Задачи урока: систематизировать знания об идеальном газе; сформировать умения выделять состояние газа и изопроцессы, описывать их физическими величинами и законами.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Отработка знаний	15	Решение задач. Фронтальный опрос
II. Обобщение теоретического материала	10—15	Работа с таблицей. Беседа
III. Решение задач	15	Самостоятельная работа
IV. Домашнее задание	1—2	Сообщение учителя

I. Устно повторяют домашние задачи и у доски решают подобные им. Можно разобрать задачу № 1 из учебника (с. 233). Учитель проверяет записи в тетради.

II. В беседе комментируют таблицу 19. Примерные *вопросы*: куда на схеме следует отнести знания о границах применимости модели идеального газа? Можно ли утверждать, что теория идеального газа основана на молекулярно-кинетических представлениях? В какой форме первоначально было получено основное уравнение идеального газа? Почему выражение $p = \frac{2}{3}n\bar{E}$ считают статистическим законом? Какие ещё статистические закономерности были обнаружены при изучении идеального газа? Чем они отличаются от динамических закономерностей?

III. Решение задач проводится с целью подготовки к контрольной работе. Лучше всего предложить решение задач по выбору (4—5 задач).

1. Определите давление газа количеством вещества 1 моль, находящегося в сосуде объёмом 10 л при температуре 27 °С.
2. Газ изотермически сжимают от объёма 6 л до объёма 4 л, при этом давление изменяется на $0,75 \cdot 10^5$ Па. Определите первоначальное давление газа.

IV. *Домашнее задание:* § 69*, 70*; упр. на с. 235 (2—4).

Кинетическая теория идеального газа

Факты

- Существование газов в природе; свойства газов — сжимаемость, давление и др.
- Понятия: масса, давление, объём и др.
- Экспериментальные факты: изменение давления данного объёма газа при нагревании, изменение объёма газа при нагревании при постоянном давлении и др.

Модель

- Модель идеального газа: а) молекулы — упругие шарики или материальные точки; б) молекулы хаотично движутся, упруго отталкиваясь при столкновении; в) потенциальная энергия много меньше кинетической, и ею пренебрегают
- Понятия: средняя кинетическая энергия молекул идеального газа, абсолютная температура
- Законы: основное уравнение МКТ идеального газа:

$$p = nkT;$$

уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

Следствия

- Опыт Штерна. Температурные шкалы
- Газовые законы: Бойля — Мариотта, Гей-Люссака, Шарля
- Расчёт параметров (p , V , T) газов
- Объяснение явлений природы и техники

Урок 11*. Контрольная работа

В зависимости от условий работа может быть предложена на целый урок или на часть урока, лучше всего использовать тест примерно из пятнадцати вопросов.

ГЛАВА X. СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА В ТВЁРДОМ, ЖИДКОМ И ГАЗООБРАЗНОМ СОСТОЯНИЯХ

В этой теме (главы 11, 12 учебника) при изучении физических явлений сначала рассматриваются их макроскопические свойства (феноменологическое описание), затем на качественном уровне приводится объяснение свойств на основе молекулярно-кинетических представлений (микроскопическое описание). Принципиальным в каждом конкретном случае является установление связи макро- и микроскопического описаний.

В зависимости от уровня обучения и условий можно не рассматривать понятие о реальном газе, сократить изучение свойств жидкостей и твёрдых тел, исключить рассмотрение теплового расширения.

Урок 1. Реальный газ. Воздух. Пар

Задачи урока: ввести понятия о реальном газе, паре, насыщенном паре; повторить (с углублением) явления испарения, конденсации и кипения; изучить характеристики влажности воздуха; раскрыть проявление статистических закономерностей в процессах испарения и конденсации; расширить представления школьников об объектах природы и средствах их описания; раскрыть значение влажности воздуха для жизнедеятельности человека; формировать мыслительную деятельность по схеме «факты — модель — следствия — эксперимент»; формировать умение конспектировать.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение. Постановка учебных проблем урока	3—5	Сообщение учителя. Формулировка вопросов
II. Изучение нового материала	30—35	Рассказ учителя с элементами беседы. Опыты. Таблицы. Рисунки и записи в тетради
III. Подведение итогов урока, выделение главного	3—5	Ответы на вопросы
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Для последовательного изучения материала, для постановки учебных проблем урока организуется краткое обсуждение *вопросов*: как определяется модель идеального газа? Можно ли с помощью идеального газа объяснить явление конденсации? Почему?

II. Изложение нового материала принимает характер лекции с элементами эвристической беседы.

1. Идеальный газ, теория которого рассмотрена в предыдущей теме, является моделью реальных физических объектов — газов, паров. Понятно, что молекулы газов имеют конечные размеры и взаимодействуют на расстоянии. Правда, в широком диапазоне условий (температура и давление) идеальный газ хорошо описывает поведение газов. Но есть у него и границы применимости. Можно ли идеальный газ охлаждением или сжатием сконденсировать, т. е. превратить в жидкость?

2. В природе вещество из одного агрегатного состояния (газ) может переходить в другое (жидкость). Значит, для описания этих явлений нужно использовать другие, более точные представления о газе. Они отражены в более точной модели — «реальный газ» (табл. 20). Необходимость этой модели возникает при изучении пара. **Паром** называют вещество в газообразном состоянии, которое при обычных условиях существует одновременно с жидкостью. Газы (кислород, азот) превращаются в жидкости при очень низких температурах и высоких давлениях.

Демонстрируются и объясняются явления конденсации, испарения, кипения, рассматриваются свойства насыщенного пара (см. табл. 20).

3. Использование модели реального газа при изучении воздуха: определяется сам объект изучения, выделяются свойства, изучаются средства описания, применяются средства измерения влажности. Демонстрируются психрометр, гигрометр, приводится пример решения задачи (можно взять из учебника), используется таблица 21.

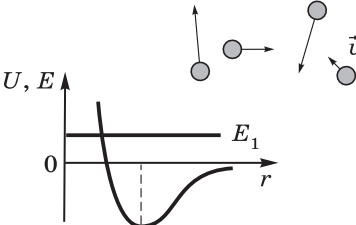
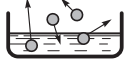
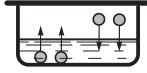
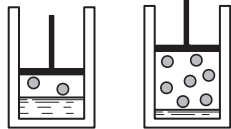
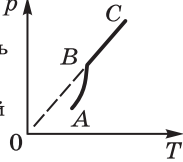
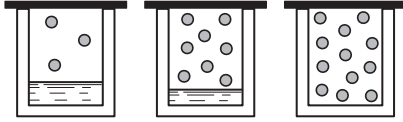
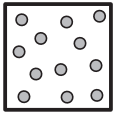
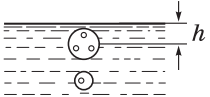
III. *Примеры вопросов*: почему необходимо ввести понятие о реальном газе? Чем этот газ отличается от идеального? Какие явления объясняются с помощью модели реального газа? Что такое пар и каковы его основные свойства? Применимы ли законы идеального газа для воздуха? (Ответ. Да.) Почему особо изучается влажность воздуха?

IV. *Домашнее задание*: § 71—72.

Урок 2. Влажность воздуха. Решение задач*

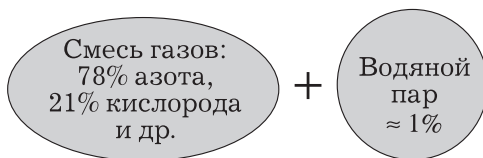
Задачи урока: продолжить формирование умения характеризовать свойства газа и процессы, происходящие с ним, с помощью основных положений МКТ.

Реальный газ

Определение модели	
<ul style="list-style-type: none"> Частицы имеют конечные размеры Взаимодействие на расстоянии Движение хаотичное 	
Пар — свойства, факты	МКТ
Испарение и конденсация	
Состояние насыщенного пара: $p_0 = nkT$	
При $T = \text{const}$ изменение объёма не приводит к изменению давления	 $p_{0,1} = p_{0,2}$
Повышение давления при повышении температуры: <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <p>AB: пар + жидкость</p> <p>BC: ненасыщенный пар</p> </div>  </div>	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div> $p_1 < p_2 < p_3$ $T_1 < T_2 < T_3$ </div> </div>
Критическое состояние: газ = жидкость	
Кипение — пар внутри жидкости: $p_0 \approx p_{\text{атм}} + \rho gh$	

Воздух

Определение объекта



Теоретические средства описания

Понятия

V, p, T

p — парциальное
давление пара

$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%$ — относительная
влажность

t_p — точка росы

Закон

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

Экспериментальные средства изучения

Измерение давления — барометр

Измерение температуры — термометр

Измерение массы — весы

Измерение влажности — гигрометр и психрометр

Гигрометр

- а) определение точки росы;
- б) определение температуры
воздуха;
- в) определение по таблице p и φ

Психрометр

- а) определение температу-
ры сухого и влажного
термометров;
- б) определение по таблице φ

Значение влажности

- Предсказание погоды
- Учёт при хранении книг, материалов, картин и т. п.
- Влияние на самочувствие человека, животных

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний. Повторение	7—10	Фронтальный опрос. Работа с конспектом
II. Изучение нового материала	10—15	Работа с учебником
III. Формирование умений, отработка знаний	20—25	Беседа. Записи на доске и в тетради. Проведение эксперимента. Решение задач
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. Для фронтального повторения предлагаются *вопросы*: в чём принципиальное различие моделей реального и идеального газов? Может ли реальный газ вести себя как идеальный? Чем различаются частицы идеального и реального газов? Чем различаются движение и взаимодействие частиц идеального и реального газов? Что такое пар? Почему состояние насыщенного пара называют состоянием статистического равновесия? Происходит ли испарение воды из стакана? Происходит ли явление конденсации? В чём согласно МКТ выражается явление испарения (конденсации)? Можно ли считать воздух газом? Почему? Почему так важно знание влажности воздуха? Какие ещё характеристики воздуха нам известны? Можно ли для описания воздуха использовать газовые законы? О чём это говорит?

II. Основные понятия влажности воздуха вводятся по учебнику.

III. Приведём вариант организации отработки знаний.

1. Рассматривают пример решения задачи из учебника (например, задача № 1 на с. 247). Возможна работа с учебником без записей в тетради, а также решение задачи без обращения к учебнику.

Вопросы для обсуждения: чем различаются первое и второе состояния пара? Чем различаются второе и третье состояния пара? Как менялось давление пара от состояния к состоянию? Какой закон используется для описания состояния насыщенного пара?

2. Один из школьников решает задачу у доски, учитель управляет решением с помощью вопросов.

Плотность насыщенного пара ртути при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна $0,02\text{ г/м}^3$. Определите давление пара при этой температуре.

Анализ физического явления. В нашем случае изучаемый физический объект — насыщенный пар ртути. Процессы не происходит, поэтому необходимо описать состояние пара, определить его давление.

Идея решения. Для насыщенного пара можно попробовать использовать модель идеального газа, а значит, уравнение Менделеева—Клапейрона.

Решение (математическая модель физического явления).
Записываем уравнение, выражаем нужную величину, выполняем расчёт:

$$pV = \frac{m}{M}RT \rightarrow p = \rho \frac{RT}{M};$$

$$p = \frac{0,02 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 293 \text{ К}}{200 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 0,24 \text{ Па.}$$

Анализ решения. Давление очень мало, его можно сравнить с давлением воздуха на высоте около 100 км (см. Справочник). Именно это оправдывает наше использование модели идеального газа.

3. Выполняется экспериментальное задание: измерить относительную влажность воздуха при помощи термометра. Оборудование: термометр, вата, вода. Дополнительные *вопросы*: изменятся ли результаты опыта, если на смоченную вату подуть? Изменится ли при этом влажность воздуха? (Ответ. Нет.)

4. Для самостоятельного решения предлагаются задачи: П., № 779—783.

IV. Домашнее задание: § 73; П., № 377, 378; для индивидуального решения советуем использовать следующие задания:

1. Выяснить условия конденсации влаги на водопроводных трубах в квартире. Где и почему это явление чаще всего наблюдается? Какой вред оно может принести? Указать меры борьбы с нежелательными последствиями этого явления.
2. Принести с холода (из холодильника) в комнату стакан с водой. Описать явления, происходящие на внешней и внутренней стенках стакана. Определить, когда запотевают окна в вашей квартире, когда запотевают стёкла очков.
3. Изучить явление испарения жидкости в домашних условиях. Составить таблицу, в которой указать случаи положительных и отрицательных последствий испарения. (Например, испарение воды с поверхности продуктов в холодильнике приводит к образованию льда на стенках морозильной камеры; сохнет хлеб, оставленный на столе, и др.)
4. С помощью психрометра и рулетки определить массу водяных паров в классе. Изменяется ли масса водяных паров в течение дня?
5. Как меняется относительная и абсолютная влажность внутри скороварки при её нагревании? Почему при выдыхании воздуха на зеркало оно запотевает? Почему перед дождём показания барометра уменьшаются?
6. Определить относительную влажность воздуха дома. Оборудование: комнатный термометр, сосуд с водой, ватка.
7. Выясните, почему изменяется уровень жидкости в коленях водяного манометра, одно колено которого соединено с воронкой, если перевернутую воронку опускать в сосуд с водой.

Урок 3*. Жидкое состояние вещества. Свойства поверхности жидкости

Задачи урока: повторить ранее изученные свойства жидкостей (несжимаемость, текучесть, форма жидкости, диффузия), дать объяснение свойств на основе МКТ; изучить явление поверхностного натяжения: определение явления, характеристики, распространение в природе, применение в технике; сформировать умение наблюдать явление поверхностного натяжения.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Совершенствование знаний и умений	10	Фронтальный опрос. Работа с таблицей
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ. Постановка опытов. Работа с рисунками. Беседа
III. Отработка знаний и умений; самостоятельная работа	15—20	Экспериментальные задания. Решение задач
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

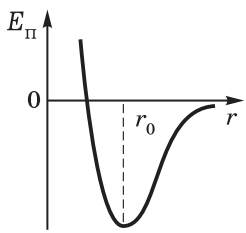
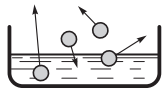
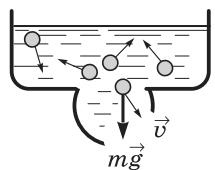
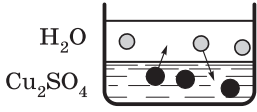
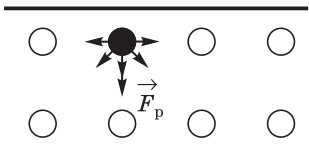
I. Совершенствование знаний и умений организуется в форме повторения; при этом демонстрируются опыты, используется таблица 22, обсуждаются вопросы. *Примеры вопросов:* какое состояние вещества называют жидкостью? Каковы основные свойства этого состояния? Как объяснить сохранение объёма жидкости (диффузию и т. д.) на основе МКТ?

II. План изучения нового материала.

1. Вначале формируется представление о явлении поверхностного натяжения. Учитель начинает с *вопроса*: может ли плавать тело из железа в жидкости, если его плотность больше плотности жидкости? После утвердительного ответа можно уточнить: будет ли плавать в воде пластинка из железа? Следующий шаг позволяет поставить учебную проблему, демонстрируется опыт по плаванию лезвия бритвы на поверхности воды. Почему лезвие не тонет?

Пока на вопросы возможен общий ответ: это новое явление, на лезвие бритвы действует вертикально вверх сила. А может быть, это сила Архимеда? (Ответ с помощью эксперимента. Если лезвие бритвы опустить на воду остриём, то оно утонет.) *Вопросы:* действует ли на лезвие бритвы сила Архимеда? Достаточно ли этой силы для того, чтобы оно плавало? Какое предположение можно выдвинуть на основе проведённых экспериментов? (Ответ. На поверхности воды на лезвие бритвы действует сила, направленная вверх; она сравнима с силой тяжести лезвия.)

Жидкость

Определение модели	
<ul style="list-style-type: none"> Молекулы представляют в виде шариков, расположенных почти вплотную Молекулы колеблются около положения равновесия, время от времени «перескакивая» на новое место Молекулы взаимодействуют на расстоянии, $E_k \sim E_{\pi}$ 	
Свойства, явления	МКТ-модель
Испарение	
Текучесть	 <p>Текучесть — «перескоки» частиц в направлении внешних действий</p>
Диффузия	
Поверхностное натяжение	

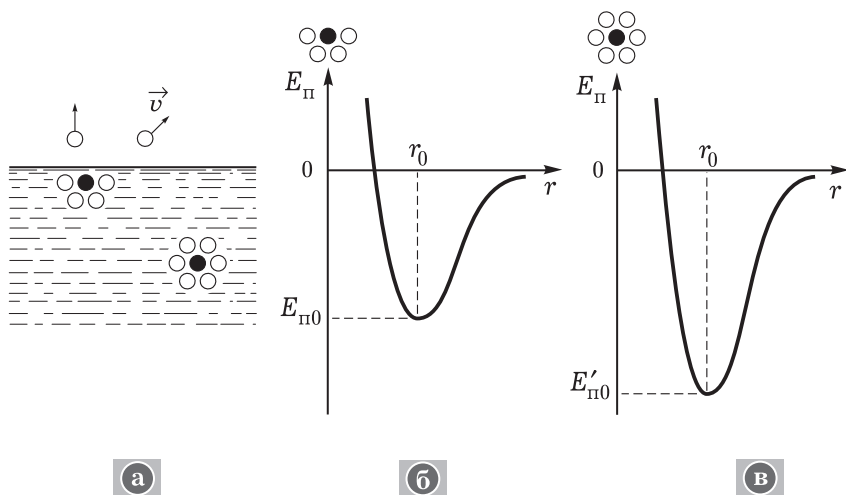


Рис. 98

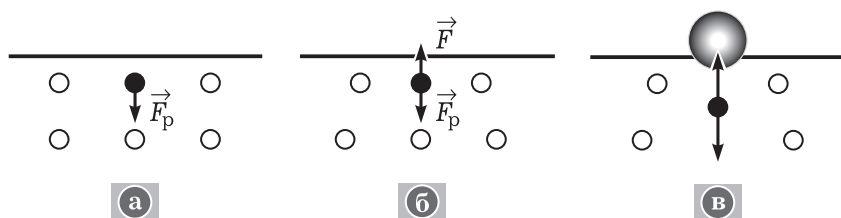


Рис. 99

2. Итак, на поверхности воды лезвие бритвы не тонет, а если его погрузить целиком в воду, то оно потонет. **Вывод:** поверхность жидкости обладает особыми свойствами. Какие же это свойства? Для ответа рассматривается МКТ-модель поверхностного слоя жидкости (рис. 98). Обсуждаются *вопросы:* почему молекулы внутри жидкости находятся в более глубокой «потенциальной яме»? (Сравните взаимодействие частицы на поверхности и частицы внутри жидкости.) Изменяется ли потенциальная энергия молекулы при переходе из глубины на поверхность жидкости?

На рисунке 99, а—в показано взаимодействие молекул в момент образования поверхностного слоя (см. рис. 99, а, б) и в момент действия поверхностного слоя на пластилиновый шарик (см. рис. 99, в). Результирующая сила F_p , действующая на молекулу вниз (рис. в табл. 22), только в первый момент не скомпенсирована. В результате небольшого смещения частиц возникает сила, направленная вверх; в конечном итоге молекула находится в равновесии. Правда, не надо забывать о движении молекул.



Рис. 100

3. Взаимодействие частиц поверхностного слоя (размер нескольких диаметров молекулы), их влечение внутрь жидкости приводят к натяжению поверхностного слоя. Это выражается в стремлении жидкости сократить свою свободную поверхность (демонстрируется опыт с проволочным кольцом (рис. 100), при возможности — опыт Плато). Возникает действие поверхностного слоя на тело, находящееся на поверхности жидкости. Это действие описывают **силой поверхностного натяжения**. Лучше всего её существование показать с помощью эксперимента: измерение действия мыльной плёнки на каркас, рамку (рис. 101); оценка силы поверхностного натяжения по значению силы тяжести тела (см. рис. 99, в).

От чего зависит сила поверхностного натяжения? С помощью эксперимента или со ссылкой на эксперимент выясняют, что сила зависит от длины границы поверхности жидкости, от вида жидкости. Зависимость силы поверхностного натяжения от вида жидкости выражается коэффициентом поверхностного натяжения σ . Итак,

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{A}{\Delta S}.$$

Для плёнки с двумя поверхностями

$$\sigma = \frac{F}{2l}.$$

В зависимости от стиля и темпа работы учителя и учеников при изучении нового материала дополнительно обсуждают *вопросы*: в какую сторону действует сила поверхностного натяжения в опыте с проволочным кольцом (см. рис. 100)? Изменится ли сила поверхностного натяжения в опыте с рамкой, если в воду добавить поваренную соль?

III. Рекомендуем решить задачу: П., № 911.

IV. Домашнее задание: П., № 912; индивидуально могут быть предложены задания.

1. Исследовать, почему при отодвигании ложки, по выпуклой стороне которой скатывается струя воды, от потока воды требуется некоторое усилие. Можно ли это действие измерить или хотя бы оценить?

Оборудование: металлическая или деревянная ложка, кран водопровода (струя воды).

2. Изучить плавание иголки на поверхности воды. Как следует положить иголку, чтобы она не

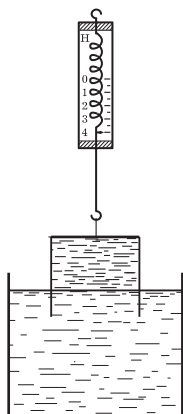


Рис. 101

утонула? Почему плавающая иголка тонет, если в воду добавить каплю одеколона или опустить кусочек мыла? Почему на поверхность горячей воды не удаётся положить иголку? На основе наблюдаемых явлений оценить силу поверхностного натяжения, которая действует на иголку.

Урок 4*. Решение задач (резерв учителя)

Урок 5. Строение и свойства кристаллических и аморфных тел

Задачи урока: ввести понятия о кристаллических и аморфных телах, ознакомить с моделями их строения; определить общие и особенные свойства твёрдых тел.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение: постановка учебных проблем урока	3—4	Сообщение учителя
II. Изучение нового материала	30—35	Рассказ с элементами беседы. Таблица. Эксперимент
III. Подведение итогов	5—9	Ответы на вопросы
IV. Домашнее задание	1—2	Сообщение учителя

I. Беседа по вопросам: что такое твёрдое тело? Почему твёрдые тела имеют такое большое значение в жизни человека? Каковы типичные свойства твёрдых тел? Каковы характеристики свойств твёрдых тел?

II. Изучение нового материала организуется в форме лекции. Рассматривают основные свойства твёрдых тел и их объяснение на основе молекулярно-кинетической теории.

1. Беседа по вопросам: чем с точки зрения статистической физики различаются твёрдые, жидкие и газообразные вещества? Меняется ли состав вещества при переходе его из жидкого состояния в твёрдое состояние? Как изменяется движение и взаимодействие частиц при конденсации газа в жидкость? (Ответ. Изменяется характер движения: хаотичное движение меняется на колебательное и «перескоки»; изменяется характер взаимодействия: расстояние между частицами уменьшается, глубина «потенциальной ямы» увеличивается.) Как изменяется движение и взаимодействие частиц при переходе вещества из жидкого состояния в твёрдое состояние? (Ответ. «Перескоки» частиц прекращаются, становятся реже. Расстояние между частицами изменяется незначительно, но положение частиц упорядочивается.

Свойства	Состояние вещества		
	Газ	Жидкость	Твёрдое тело
Плотность	—	Возрастает	→
Форма	Занимает всё возможное пространство	Повторяет форму сосуда	Сохраняет в широких границах свою форму
Прочность	—	Возрастает	→

За счёт существования дальнего порядка увеличивается глубина «потенциальной ямы» — частицы взаимодействуют сильнее.) Особенности строения, движения и взаимодействия частиц вещества объясняют его основные свойства в том или ином агрегатном состоянии (табл. 23).

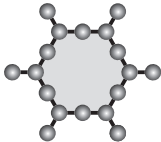
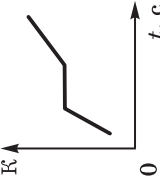
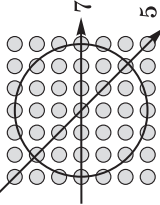
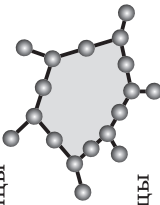
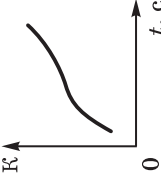
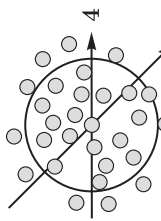
2. Мир твёрдых тел разнообразен. Но в физике различают два класса твёрдых тел — кристаллические и аморфные (табл. 24). Каковы их особенности?

Рассказ учителя начинается с рассмотрения строения кристаллических и аморфных тел (учебник, рис. 12.14; табл. 24). Учитель демонстрирует модели решёток кристаллических тел, изменение формы аморфных тел (воск или гудрон в воронке), анизотропию и изотропию теплопроводности гипса и стекла (ДЭ, с. 165—169).

Вопросы для организации беседы: чем различаются монокристаллические и поликристаллические твёрдые тела? Какие общие свойства обнаружены в строении жидкостей и аморфных твёрдых тел? (Ответ. Отсутствие дальнего порядка.) Можно ли сказать, что аморфное тело — это кристаллическое тело с множеством дефектов? Как будут изменяться свойства твёрдого тела при увеличении числа дефектов в его кристаллической решётке? (Ответ. Будет возрастать текучесть, появится интервал температуры плавления, изменятся механические свойства...) Почему металлы, которые относятся к кристаллическим телам, не обладают свойством анизотропии? Сохраняется ли форма кристаллов для одного и того же вещества? (Один из школьников демонстрирует выращенный кристалл медного купороса, говорит о разнообразии кристаллических решёток.)

3. Одним из важнейших свойств твёрдых тел является их линейное и объёмное расширение при нагревании. Демонстрируется известный опыт с шариком и кольцом. Почему так происходит? Как МКТ объясняет линейное расширение тел? (Подробнее см.: Сауров Ю. А. Молекулярная физика: Модели уроков. — М.: Просвещение, 1998.)

Таблица 24

Тип твёрдого тела	Особенности		
	<p>Молекулярно-кинетическая модель</p>	<p>Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое</p>	<p>Зависимость свойств твёрдого тела от направления</p>
Кристаллическое	<p>Частицы расположены упорядоченно в пространстве. Частицы колеблются. Частицы взаимодействуют строго определённым образом</p> 	<p>Разрушение положения частиц, их связей требует энергии — это происходит при определённой температуре</p> 	<p>Анизотропия расположения частиц приводит к анизотропии свойств кристалла</p> 
Аморфное	<p>Нет порядка в расположении частиц. Частицы колеблются, время от времени «перескакивают». Частицы взаимодействуют</p> 	<p>При нагревании увеличивается расстояние между частицами, связи ослабевают, увеличивается число «перескоков» — уменьшается вязкость</p> 	<p>Изотропия расположения частиц по всем направлениям, изотропия свойств</p> 

III. При развёрнутом и полном изучении нового материала подведение итогов проводится при повторении *основных вопросов*: какова молекулярно-кинетическая модель твёрдого тела? Каковы основные свойства твёрдых тел? От чего зависят эти свойства согласно МКТ? Можно ли предсказать свойства твёрдого тела, если известны его строение и взаимодействие частиц?

IV. Домашнее задание: § 78.

Урок 6*. Механические свойства твёрдых тел

Задачи урока: продолжить знакомство со свойствами твёрдых тел и средствами их описания; сформировать умение описывать деформации на основе МКТ.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка учебной проблемы. Изучение нового материала	20	Фронтальное повторение. Рассказ. Беседа. Работа с таблицей. Опыты
II. Отработка знаний	20—25	Фронтальный эксперимент
III. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. После краткого фронтального повторения переходят к изучению нового материала. Особенности изучения состоят в систематизации знаний, их повторении и углублении; желательно выделить явления или свойства на основе МКТ.

1. С твёрдыми телами, без которых жизнь человека невозможна, происходит много различных явлений. С некоторыми из них мы уже знакомы: тепловое расширение, деформация и др. При деформации проявляются важные для практики свойства твёрдого тела (табл. 25).

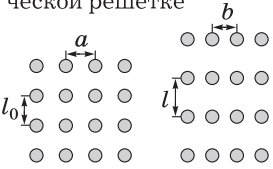
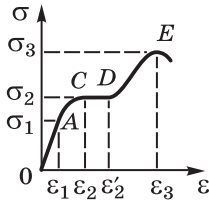
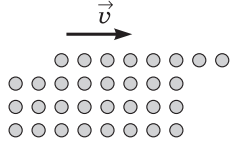
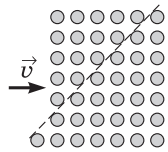
2. Учитель выделяет виды деформаций (растяжение, сдвиг, кручение; упругие, пластические и др.), демонстрирует их на примере ластика, модели (ДЭ, с. 169).

3. Как описывать свойства твёрдого тела — основная *учебная проблема* урока. Средства описания обычные: а) физические величины, например модуль Юнга, который характеризует сопротивляемость материала упругой деформации; б) закон Гука, устанавливающий связь действующей силы и удлинения при упругой деформации.

Запись и обсуждение закона Гука в форме $\sigma = E\varepsilon$.

4. У доски организуется коллективное решение задачи.

Проволока длиной 10 м и площадью поперечного сечения 1 мм² при растяжении силой 100 Н удлинилась на 1 см. Определите модуль Юнга материала проволоки.

Механические свойства твёрдых тел	Описание	
	макроскопическое	микроскопическое
Упругость Восстановление первоначальной формы после прекращения воздействия	$\sigma = E \varepsilon $ — закон Гука ОА — область упругости (см. график) σ_1 — предел упругости (для резины $\varepsilon_1 \approx 80 - 100\%$)	Малое смещение частиц в кристаллической решётке 
Текучесть Удлинение материала практически без увеличения нагрузки	 CD — область текучести материала σ_2 — предел текучести	Скольжение внешних слоёв кристаллической решётки 
Пластичность Изменение формы и размеров тела после прекращения нагрузки	AC — область пластических деформаций (для стали $\varepsilon_1 > 1\%$)	Скольжение слоёв кристаллической решётки без разрыва связей 
Хрупкость Разрушение материала при небольших деформациях	σ_3 — предел прочности (для чугуна $\varepsilon_3 = 0,45\%$, для стали $\varepsilon_3 = 15\%$, для чугуна $\sigma_3 \approx 0,65 - 1,30$ ГПа)	Разрушение кристаллической решётки при небольших деформациях

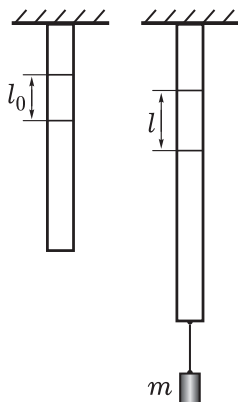


Рис. 102

II. Фронтально организуется небольшое экспериментальное исследование упругой деформации резины. На листочках указан порядок работы: а) название; б) рисунок с указанием удлинения, силы растяжения (рис. 102); в) формулы расчёта модуля Юнга; г) одно-два измерения при разных силах; д) выводы о выполнимости закона Гука.

III. *Домашнее задание* может быть выполнено в виде оформления отчёта и ответов на контрольные вопросы.

Урок 7*. Решение задач. Самостоятельная работа

ГЛАВА XI. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

При изучении темы учителю следует ориентироваться на формирование следующих интеллектуальных и практических умений:

- выделять физические системы, конструировать их модели (с соответствующими параметрами), определять происходящие процессы;

- описывать явления природы и принцип действия технических устройств на основе первого и второго начал (законов) термодинамики, в частности описывать изопроцессы, теплопередачу, объяснять принцип работы и рассчитывать КПД тепловых машин;

- проводить опыты по изменению внутренней энергии тела путём совершения работы и сообщения количества теплоты, наблюдать, приводить примеры и характеризовать тепловые явления в природе, технике, быту;

- определять (в ходе решения задач) работу газа по графику зависимости давления от объёма, энергетические преобразования в системе на основе первого начала (закона) термодинамики, КПД тепловых машин;

- раскрывать мировоззренческое значение законов термодинамики, тепловых машин в жизни общества, обсуждать проблемы экологии и экономии тепловой энергии, объяснять границы применимости понятий и законов термодинамики.

Урок 1. Термодинамическая система и её параметры

Задачи урока: ознакомить с объектами изучения термодинамики и их основной моделью — термодинамической системой; дать представление о равновесном состоянии и неравновесных

процессах; продолжить формирование понятий «состояние», «параметры состояния», «внутренняя энергия», «работа», «количество теплоты».

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Беседа. Работа с таблицей. Запись на доске и в тетради
II. Углубление и отработка знаний и умений	15—20	Решение задач. Ответы на вопросы. Эксперимент
III. Подведение итогов	3—5	Сообщение учителя. Ответы на вопросы
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Урок рациональнее начать с рассмотрения нового материала.

1. Что и как изучает термодинамика? С этого вопроса начинается рассказ учителя. При ответе обращается внимание на следующее: а) термодинамика возникла в середине XIX в. как теория (наука) тепловых процессов, рассматриваемых на основе энергетических преобразований; б) термодинамика не рассматривает явления на основе движения молекул; в) термодинамика изучает наиболее общие свойства макроскопических систем, находящихся в равновесном состоянии, и процессы их перехода из одного равновесного состояния в другое; г) термодинамический метод широко используется в других разделах физики, в химии, биологии; д) термодинамика, как и любая физическая теория или раздел физики, имеет свои границы применимости. Поясним последнее. Во-первых, термодинамика изучает свойства макроскопических систем, значит, неприменима к системе из нескольких молекул. Во-вторых, термодинамика не может быть применима ко всей Вселенной, слишком сложной и неопределённой физической системе.

Для усвоения вопроса о предмете изучения термодинамики по ходу урока неоднократно проговариваются ответы на *вопросы*: какие явления (объекты) рассматривает термодинамика? При каких условиях физический объект изучается на основе термодинамики? Что такое термодинамическая система? Что мы называем термодинамическими параметрами? Почему термодинамическая система — это модель? Для чего используют модели при изучении физических явлений?

Открытие законов термодинамики, их применение для описания тепловых процессов, практическое использование в технике сыграли важную роль и составили целую эпоху в развитии физики; поэтому целесообразно хотя бы кратко дать обзор важнейших открытий, рассказать об основателях этой теории.

2. Беседа продолжается по *вопросам*: что такое термодинамическая система? В каких состояниях она может находиться? Каковы характеристики (параметры) состояния системы? Как и почему они изменяются? На этой основе необходимо осознать и усвоить логику (последовательность) описания тепловых явлений, углубить знания о введённых ранее физических величинах.

Термодинамической системой называют любую совокупность макроскопических тел, которые взаимодействуют между собой и с внешними объектами посредством передачи энергии и вещества. Различают внутренние параметры — температуру, давление, массу, концентрацию, теплоёмкость и др. и внешние — объём, форму. **Изолированной** по аналогии с механикой называют систему, не взаимодействующую с другими системами. Выделение термодинамической системы среди физических объектов, а тем более определение её как изолированной — всегда моделирование. При отсутствии взаимодействия параметры (какие?) системы остаются постоянными, и такое состояние называют **равновесным** или **статическим**. На графике в любой координатной системе равновесное состояние изображают точкой. Школьники должны понимать, что термодинамическая система, находящаяся в равновесии, — это основная модель объектов в термодинамике.

Для последовательного определения термодинамической системы, для логически ясной постановки и решения вопроса об описании поведения системы следует ввести понятие о виде взаимодействия систем. **Тепловым** можно назвать взаимодействие между системами, при котором не происходит совершения работы. В результате изменяется энергия системы; механизм такого взаимодействия состоит в теплопередаче разными способами. **Термодинамическим** можно назвать взаимодействие, при котором состояние системы изменяется посредством как теплопередачи, так и совершения работы. **Вывод**: выделение среди физических объектов термодинамической системы определяется постановкой вопроса «В каком взаимодействии участвует система?».

3. Основным параметром термодинамической системы, определяющим её состояние, является **внутренняя энергия U** . *Вопросы для организации беседы*: как на основе МКТ определить внутреннюю энергию тела? Почему в термодинамике при определении внутренней энергии не принимают в расчёт энергию движения и взаимодействия электронов в атомах? (Ответ. При относительно небольших температурах внутриатомная энергия не изменяется в термодинамических процессах, поэтому её в определении не учитывают.) Какими аргументами можно обосновать утверждение о том, что внутренняя энергия является однозначной функцией состояния? (Ответ. Состояние системы определяется движением и взаимодействием частиц и характеризуется внутренней энергией; безразлично, каким способом система оказалась в данном состоянии. В определение внутренней энергии не входят ни внешние силы, ни характеристики предшествующего состояния.) Как определить изменение вну-

тренней энергии при переходе системы из одного состояния в другое?

II. Углублённое изучение материала и его отработка организуются при решении задач и выполнении заданий. Рассмотрим наиболее типичные из них.

1. Как и почему изменяется внутренняя энергия твёрдого тела при плавлении? Что изменяется при плавлении (см. табл. 18)?

2. Какой газ при одинаковых условиях обладает большей внутренней энергией — идеальный или реальный? (Ответ. Большей внутренней энергией обладает реальный газ, так как, кроме кинетической энергии, имеется и потенциальная энергия взаимодействия частиц.)

3. Как рассчитать внутреннюю энергию идеального одноатомного газа, например гелия, неона, аргона? Можно ли утверждать, что эта энергия равна средней кинетической энергии всех частиц? Можно ли записать следующее равенство:

$$U = E_k + E_p = E_k = \bar{E}_k = N \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} NkT?$$

Как последнее выражение можно использовать для доказательства того, что U — функция состояния системы? Почему так важно выразить внутреннюю энергию системы через макроскопические параметры системы? (Ответ. Именно эти параметры можно измерить, значит, можно определить и значение внутренней энергии системы.) От чего зависит внутренняя энергия идеального газа? (Ответ. От температуры, количества вещества.) Докажите, что в модели реального газа внутренняя энергия зависит ещё от объёма. (Ответ. У реальных газов учитывают энергию взаимодействия частиц; она зависит от расстояния между частицами, т. е. от объёма газа.)

4. Чему равна внутренняя энергия гелия, заполняющего аэростат объёмом 60 м^3 при давлении 100 кПа ?

Методические указания. Температуру гелия находят из уравнения состояния идеального газа, затем подставляют полученное выражение в формулу для внутренней энергии.

5. Внутренняя энергия одноатомного газа некоторой массы при температуре 32°C равна 1 Дж . Оцените число молекул газа.

Методические указания. Искомую характеристику газа можно определить, зная число молей газа; последнее получаем из уравнения для энергии идеального газа. Расчёт даёт значение порядка 10^{20} частиц.

6. Для осуществления внутрипредметных связей, для развития мышления школьников в процессе наблюдения физических явлений решается экспериментальная задача: предсказать и показать, в какой пробирке вода закипит быстрее (рис. 103).

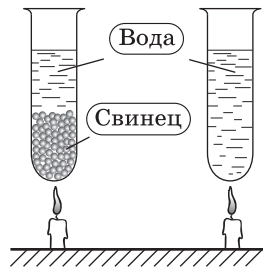


Рис. 103

Методические указания. В одну пробирку на треть объёма насыпана свинцовая дробь, затем в пробирки (до одинакового уровня) налита вода. Для нагрева используются спиртовки с одинаковым пламенем. *Вопросы для организации беседы* по задаче: какие термодинамические системы рассматриваются в задаче? Какими параметрами они различаются? (Ответ. Массой, теплоёмкостью, плотностью. Из Справочника выясняется, что удельная теплоёмкость воды примерно в 30 раз больше, чем у свинца, а плотность соответственно в 11 раз меньше.) Одинакова ли внутренняя энергия систем при одинаковой температуре? В целях экономии времени необязательно нагревать системы до кипения, но в этом случае необходимо измерение температуры. К задаче можно вернуться на следующем уроке.

III. При подведении итогов урока следует вернуться к *основному вопросу*: что же такое термодинамика? И в начале урока, и сейчас можно обратиться к структуре термодинамики. Фронтально повторяются *вопросы*: что такое термодинамическая система? Как определяется внутренняя энергия?

IV. *Домашнее задание*: § 79; доклады к конференции; упр. на с. 264 (ЕГЭ).

Урок 2. Термодинамические процессы

Задачи урока: ввести понятие о термодинамическом процессе как изменении состояния системы; раскрыть связь процессов со взаимодействием системы с внешними телами, с работой и передачей тепла; продолжить формирование умений определять термодинамическую систему, характеризовать её состояние и процессы.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и контроль знаний	8—10	Фронтальный опрос. Решение задач
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ с элементами беседы. Опыты и их обсуждение. Работа с учебником. Записи в тетради
III. Формирование знаний и умений	15—20	Коллективное и индивидуальное решение задач
IV. Подведение итогов урока	5—7	Ответы на вопросы
V. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. В начале урока устно повторяют домашнюю задачу из упражнения, фронтально обсуждают теорию предыдущего урока.

Можно задать несколько *дополнительных вопросов*: какие понятия термодинамики заимствованы из механики? Какие понятия изучались в 8 классе? Какие понятия введены на предыдущем уроке?

II. Как происходит изменение состояния термодинамической системы, в чём это выражается, как теоретически описывается — это центральные *учебные проблемы* урока. С помощью проведения опытов и решения задач учитель формирует соответствующие теоретические представления.

1. В природе и технике распространено тепловое взаимодействие систем. Например, между плиткой и воздухом теплоприёмника происходит теплопередача (рис. 104). *Вопросы*: изменяется ли состояние систем? Как доказать, что температура воздуха в теплоприёмнике изменяется? Какие ещё параметры воздуха меняются? От чего зависит результат теплового взаимодействия систем? (О т в е т. От разности температур, площади соприкосновения, расстояния между системами, свойств оболочки системы — зеркальная или нет — и др.) Ставятся соответствующие опыты с теплоприёмником.

Беседа продолжается по *вопросам*: какие виды теплопередачи вы знаете? Изменяется ли внутренняя энергия в результате теплопередачи? Может ли она не изменяться? Всегда ли изменяется температура системы в результате теплопередачи? (О т в е т. Нет, например, не изменяется при плавлении.) Всегда ли изменяются другие параметры системы — давление, объём, масса? (О т в е т. Нет, это зависит от конкретных условий — изотермический, изобарный или иной процесс.) Как называется энергия, передаваемая в процессе теплообмена? Как она рассчитывается при разных процессах? (Коллективно вспоминают и записывают формулы $Q = cm\Delta t$, $Q = \lambda m$, $Q = rm$.) Происходит ли при теплообмене переход энергии из одной формы в другую? (О т в е т. Нет. Согласно МКТ при контакте двух систем с разной температурой уменьшается скорость движения молекул в одной системе и увеличивается — в другой. Иное дело — как нагревание системы сказывается на её структуре.) Что такое удельная теплоёмкость? Что она характеризует? (О т в е т. Свойство системы, выражающееся в способности изменять температуру на определённое значение при сообщении единичного количества теплоты на единицу массы.)

2. *Вопросы*: изменится ли состояние термодинамической системы, если на неё оказать внешнее воздействие, например

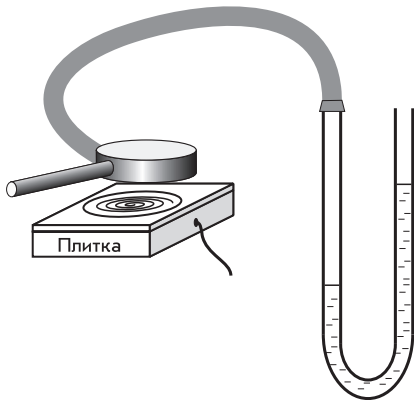


Рис. 104

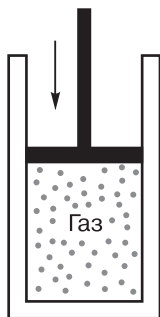


Рис. 105

сжать газ поршнем (рис. 105)? Как это теоретически (или экспериментально) доказать? (Ответ. В учебнике приводится формула для работы газа $A = -p\Delta V$. При расширении газ совершает положительную работу, т. е. его внутренняя энергия уменьшается. Докажем этот вывод с помощью известного опыта — рис. 106.) *Вопросы для организации беседы по результатам опыта:* какую термодинамическую систему мы рассматриваем? (Ответ. Воздух с парами воды.) Что происходит с газом при вылете пробки? Кто или что совершает при этом работу? За счёт чего изменяется энергия пробки? На основании чего мы делаем вывод об уменьшении внутренней энергии газа?

(Ответ. Появление тумана свидетельствует об охлаждении газа.)

3. Ознакомление с графическим методом вычисления работы газа начинаем с изобарного расширения: по учебнику рассматривается вывод формулы, приводится геометрическое толкование значения работы. Затем делается обобщение для случая переменного давления (рис. 107). По рисунку приводится рассуждение: процесс перехода газа из состояния 1 в состояние 2 можно разбить на маленькие участки, давление на которых можно считать постоянным; тогда общая работа газа будет равна сумме работ газа на этих участках; в итоге для любого процесса в координатах p – V такое геометрическое истолкование работы применимо.

III. Формирование умений организуется следующим образом:

а) коллективно решаются экспериментальная и расчётная задачи; б) индивидуально у доски решаются задачи с их устным обсуждением; в) самостоятельно решаются задачи из пособий, например П., № 389, 390. Приведём примеры задач.

1. Как и почему изменяются показания водяного манометра при трении шлифовальной бумаги о колбу (рис. 108)? Какой вариант изменения состояния системы здесь осуществляется: совершение работы или теплопередача?



Рис. 106

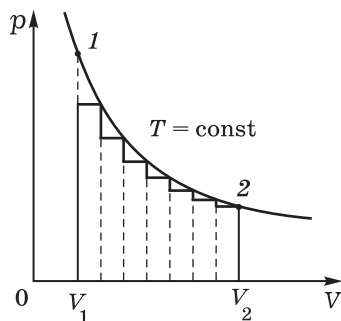


Рис. 107

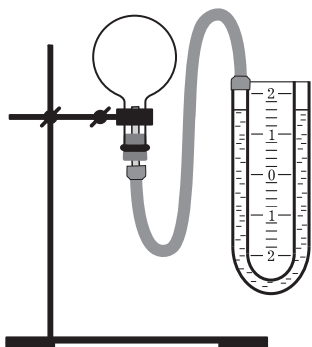


Рис. 108

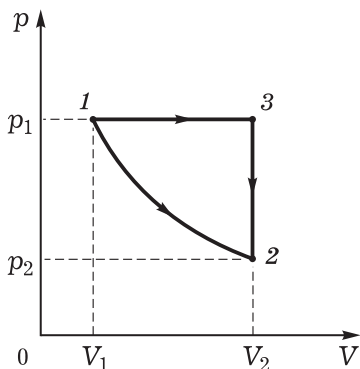


Рис. 109

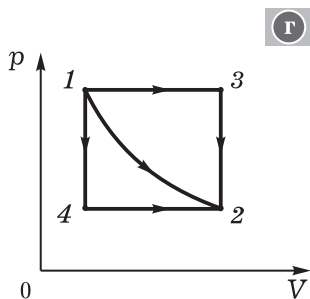
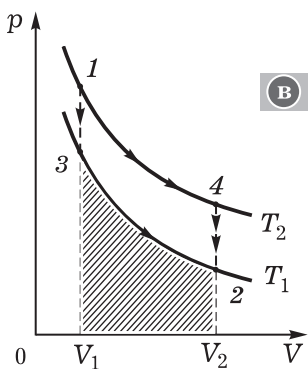
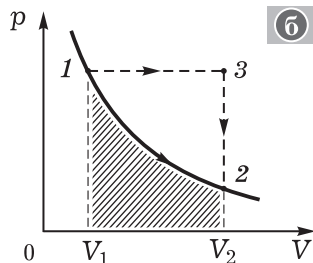
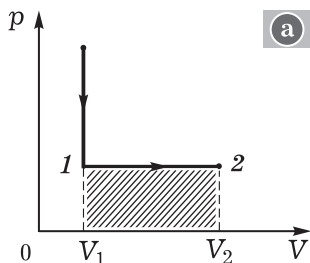


Рис. 110

Методические указания. Опыт проводит один из школьников, не касаясь руками колбы.

2. Как и почему изменяется внутренняя энергия газа при переходе его из состояния 1 в состояние 2 двумя разными способами (рис. 109)?
3. Определите по графику процесса, какую работу совершает газ при переходе из состояния 1 в состояние 2 (рис. 110).

Методические указания. Логика решения: определение процесса по графику — определение работы газа на основе её геометрического истолкования. В тетради выполняются рисунки, с помощью четвёртого графика делается **вывод**: работа газа при переходе из состояния 1 в состояние 2 зависит от процесса перехода; работа не является функцией состояния.

IV. Повторяют ответы на *вопросы*: каковы основные характеристики состояния термодинамической системы? Можно ли называть термодинамическими изопроцессы? Какие параметры газа при этом изменяются? Как можно изменить внутреннюю энергию системы? Как графически изображают термодинамический процесс?

V. *Домашнее задание*: § 80, 82; упр. на с. 267 (ЕГЭ); П., № 405.

Урок 3*. Решение задач

На уроке организуют работу с материалом § 81*.

Домашнее задание: § 81*; упр. на с. 269 (ЕГЭ).

Урок 4*. Уравнение теплового баланса. Решение задач

Урок планируется как повторение и отработка изученного материала.

Домашнее задание: § 82, 83*; упр. на с. 274 (1, 2).

Урок 5. Первый закон термодинамики

Задачи урока: ввести первый закон термодинамики как закон сохранения энергии термодинамической системы, раскрыть его физическое содержание при рассмотрении конкретных процессов; продолжить формирование умения описывать тепловые процессы с помощью физических величин и законов.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10—15	Фронтальный опрос. Ответы у доски. Диалог
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ учителя. Опыты и их объяснение. Записи в тетради
III. Отработка знаний	10—15	Решение задач
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. У доски письменно готовятся ответы по двум темам: вывод формулы работы газа при изменении его объёма, геометрическое истолкование работы на примере изобарного и изотермического

процессов. После краткого ответа по комментированию записей следуют *дополнительные вопросы*: в каком случае газ совершает работу? Почему работа не является функцией состояния системы? Как теоретически доказать, что работа газа при изотермическом и изобарном процессах неодинакова? (*У к а з а н и е*. Следует использовать графическое истолкование работы, уточнить, из какого состояния в какое переходит газ.) При каких условиях это справедливо? При каком условии работа не изменяет внутренней энергии системы? (*Ответ*. При теплопередаче.)

Во время фронтального повторения организуется актуализация знаний по *вопросам*: как определяется полная механическая энергия любой системы? Как формулируется закон сохранения полной механической энергии? Когда происходит изменение кинетической (или потенциальной) энергии тела? Приведите примеры превращения одного вида энергии в другой. В каких случаях не выполняется закон сохранения механической энергии? (*У к а з а н и е*. Демонстрируется опыт с падением пластилина на стол.)

II. В начале изучения нового материала следует сделать общее методологическое введение. Оно касается двух вопросов: истории открытия первого закона термодинамики и сути (статуса) закона.

1. Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии в тепловых процессах был открыт в результате обобщения экспериментальных фактов. Следует дать краткую информацию о деятельности первооткрывателей закона. Полезно зачитать отрывок из работы М. В. Ломоносова «Размышления о причине теплоты и холода» (Хрестоматия, с. 41—43).

Накопление опытных фактов и теоретических предположений продолжалось десятки лет и, несомненно, было очень трудным. Очевидно и то, что без установления количественных связей закон не был бы ни сформулирован, ни экспериментально подтверждён. **Первый закон термодинамики устанавливает общее свойство взаимодействия термодинамических систем — сохранение полной энергии.** И это не зависит ни от процесса, ни от особенностей системы (размера, состояния, массы). Такой общий характер закона обеспечил ему широкое применение, а отсюда его роль и значение как великого закона физики.

2. Получим математическую формулировку первого закона термодинамики. Последовательность рассуждений такова: полная энергия термодинамической системы — внутренняя энергия; изменение внутренней энергии возможно лишь за счёт теплопередачи и (или) совершения работы; в математической форме это имеет вид $\Delta U = Q + A$; расшифровка уравнения: знаки, обозначения, другой вид; формулировка закона в виде невозможности существования вечного двигателя первого рода.

После записи формулы закона для его иллюстрации, для поддержания интереса демонстрируются опыты с теплоприёмником и водяным манометром: изменение состояния термодинамической системы «теплоприёмник—газ» сначала с помощью теплопередачи, затем совершением работы (натирание), наконец, одновре-

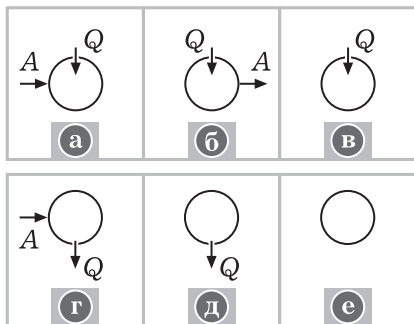


Рис. 111

менно этими двумя способами. *Вопросы:* как доказать, что внутренняя энергия системы изменилась? Существуют ли иные способы изменения внутренней энергии системы? В каком случае внутренняя энергия системы сохраняется? (Ответ. Замкнутая система: нет теплопередачи и не совершается работа.)

О вечном двигателе лучше всего подготовить доклад — выступление ученика.

Тезисный план рассказа примерно такой: а) нашу цивилизацию называют машинной, роль машин велика, основное свойство машин — совершать работу; б) люди всегда мечтали об идеальной машине, которая бы совершала работу неопределённо долго; в) пример вечного двигателя, объяснение работы по рисунку, вывод о невозможности такого двигателя. *Литература:* Перельман Я. И. Занимательная физика. Кн. 1. — М.: Наука, 1982. — С. 61—74.

III. Углубление изученного материала и формирование умений организуется при самостоятельном и коллективном решении задач; советуем учителю всё время разнообразить приёмы и методы.

1. Сначала фронтально устно ученики отвечают на *вопросы:* какие возможны процессы, в которых участвует термодинамическая система «идеальный газ»? Как записывается и читается уравнение первого закона термодинамики для каждого случая (рис. 111)? Варианты ответов:

а) происходит теплопередача, и над газом совершается работа, т. е. изменяются объём, давление, температура, внутренняя энергия газа: $\Delta U = Q + A$;

б) газу сообщается количество теплоты, следовательно, газ совершает работу, т. е. объём газа увеличивается; в зависимости от значений Q и A происходит изменение внутренней энергии: $\Delta U = Q - A$;

в) газ нагревается, внутренняя энергия увеличивается, давление увеличивается, объём остаётся прежним: $\Delta U = Q$;

г) газ охлаждается, и над ним совершается работа, т. е. возможно изменение внутренней энергии: $\Delta U = A - Q$;

д) газ охлаждается, температура его уменьшается, внутренняя энергия тоже уменьшается: $\Delta U = -Q$;

е) система остаётся в равновесном состоянии: $\Delta U = 0$.

2. Устно с фронтальным обсуждением может быть рассмотрен пример решения задачи из учебника (с. 282, № 3).

3. Рассматривается человек как термодинамическая система. *Вопросы* для коллективного обсуждения: можно ли считать

человека термодинамической системой? Какая она: замкнутая или нет? Что характерно для движения такой системы: состояние или процесс? В каких процессах обычно участвует система? (Ответ. Теплообмен с окружающими системами, работа при действии человека на другие системы.) За счёт чего поддерживается постоянная температура (внутренняя энергия) человека? (Ответ. За счёт поступления энергии от других систем в виде пищи.) Учитель или заранее предупреждённый ученик приводит данные об удельной теплоте сгорания некоторых пищевых продуктов: например, при усвоении 1 кг пшеничного хлеба выделяется около 9000 кДж энергии (Справочник, с. 119). Как записать первое начало термодинамики для системы «человек»? (Ответ. $\Delta U = Q_{\text{пищи}} - Q_{\text{теплообмена}} - A$.) Может ли человек сохранять свою энергию совершением работы, например потиранием рук? С какой целью используют одежду, грелки, вентиляторы?

IV. Домашнее задание: § 84; упр. на с. 275 (ЕГЭ). Индивидуально статья Г. Гельмгольца (Хрестоматия, с. 277—281), рассказ о жизни и деятельности Р. Майера (Блудов М. И. Беседы по физике. — М.: Просвещение, 1984. — Ч. 1. — С. 174—180).

Урок 6. Применение первого закона термодинамики для описания изопроцессов

Задачи урока: ввести понятие об адиабатном процессе; сформировать умение использовать первый закон термодинамики для описания газовых процессов; продолжить развитие теоретического мышления школьников при решении задач: осознание целей решения, проговаривание анализа явления, разработка плана действий, отношение к математической модели как средству описания явлений, творческое обсуждение результатов решения и др.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	15—20	Рассказ. Опыты. Работа с таблицей, с графиками
II. Совершенствование знаний и умений	20—25	Решение задач. Контроль и оценка знаний
III. Подведение итогов	2—4	Заключение учителя
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Самая простая термодинамическая система — это идеальный газ; самые простые процессы, происходящие с газом, — это изотермический, изобарный и изохорный. Применим первый закон термодинамики для описания этих процессов; проверим, справедлив ли он для этой системы, правильно ли описывает энерги-

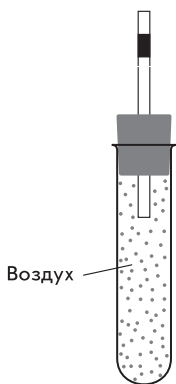


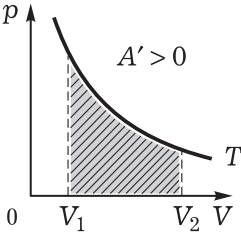
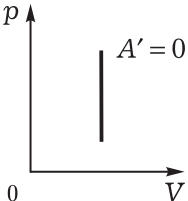
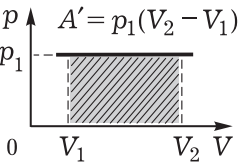
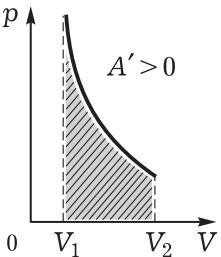
Рис. 112

ческие преобразования. *Вопросы на повторение:* какие изопроцессы вам известны? С какой физической системой они происходят? Можно ли называть изопроцессы термодинамическими процессами? Как продемонстрировать изотермический, изобарный и изохорный процессы? (Указание. Следует напомнить школьникам описание установки и ход опытов с сильфоном — ФЭ, с. 108 и др.)

Составим таблицу; как вариант возможно использование специальной таблицы (табл. 26). Для каждого процесса в соответствующий столбик записывается первый закон термодинамики. *Вопросы для организации беседы:* почему при изотермическом процессе не изменяется внутренняя энергия? (Указание. Следует вспомнить формулу для внутренней энергии идеального газа: $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$.) Что должно происходить при сжатии газа? (Ответ. Газ должен отдавать часть энергии: $Q = A$.) Совершается ли работа при изохорном процессе? За счёт чего изменяется внутренняя энергия газа? (Ответ. За счёт теплообмена: нагревания или охлаждения газа.) Как экспериментально доказать, что внутренняя энергия газа изменяется за счёт теплопередачи? Изменяется ли температура газа при изобарном процессе? За счёт чего? (Ответ. Подводимое тепло идёт на нагревание газа и на совершение им работы при расширении.) Как экспериментально доказать, что при изобарном процессе газ совершает работу? (Ответ. Движение подкрашенного столбика воды (рис. 112) означает, что совершена работа газом; нагрев воздуха осуществляется рукой.) Как доказать, что наблюдаемый в опыте процесс изобарный?

Кроме названных изопроцессов, существует ещё один, получивший название **адиабатный**. Это процесс изменения состояния системы при отсутствии теплообмена. Для практической реализации процесса систему надо теплоизолировать, затем совершить над ней работу или создать условия для совершения газом работы при расширении. При $Q = 0$ первый закон термодинамики приобретает вид $\Delta U = A$. Причём если внутренняя энергия увеличивается, то A — это работа, совершаемая над газом при его сжатии; если внутренняя энергия уменьшается, то работу обозначают через A' — это работа газа при его расширении. (Заметим, что иногда говорят о положительной и отрицательной работе.) Как экспериментально проверить этот теоретический вывод? Легче всего адиабатный процесс наблюдать при очень быстром процессе — теплообмен просто не успевает произойти. Вспомним опыт по расширению воздуха при вылете пробки из сосуда (см. рис. 106). Можно ли наблюдаемый процесс назвать адиабатным? Как доказать, что внутренняя энергия воздуха изменилась?

Термодинамика изопроцессов

Процесс	Работа газа при расширении	Закон сохранения энергии
Изотермический, $T = \text{const}$		$\Delta U = 0$ $Q + A = 0$ $Q = -A = A'$
Изохорный, $V = \text{const}$		$Q = \Delta U$
Изобарный, $p = \text{const}$		$\Delta U = Q + A$ $Q = \Delta U + A'$
Адиабатный, $Q = 0$		$Q = 0$ $\Delta U = -A'$

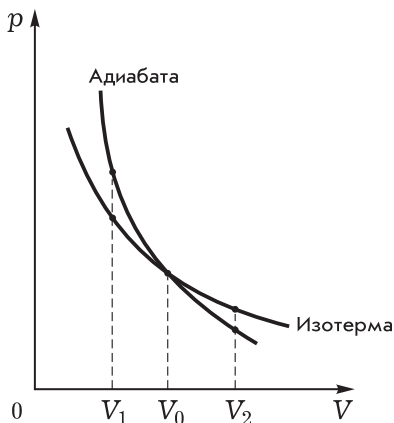


Рис. 113

Для показа адиабатного сжатия воздуха на дно прибора «воздушное огниво» кладут небольшой кусочек обожжённой ваты, предварительно смоченный машинным маслом. *Вопросы* по результатам опыта: почему при резком ударе рукой по поршню вата вспыхивает? Как наблюдаемое явление объяснить теоретически? Почему при медленном сжатии газа явление не наблюдается?

П. Решение задач направлено на углубление знаний, на формирование умений; одновременно осуществляется контроль усвоения знаний.

1. На доске изображены графики двух термодинамических процессов (рис. 113). Какой из них адиабата, какой — изотерма? При каких условиях газ в этих процессах совершает большую работу?

Вопросы для организации беседы: какая термодинамическая система рассматривается в задаче? (Ответ. Идеальный газ.) Какой процесс называют изотермическим? За счёт чего изменяется давление газа при изотермическом процессе? (Ответ. За счёт изменения объёма газа: при увеличении давления это происходит в результате работы внешних сил.) Совершает ли газ работу в изотермическом процессе? При каких условиях? (Ответ. Газ расширяется, совершает работу, поэтому необходим подвод тепла.) Какой процесс называют адиабатным? Изменяется ли внутренняя энергия в этом процессе? Какие ещё параметры системы изменяются? (Ответ. Объём и давление.) Совершает ли газ работу в адиабатном процессе? За счёт чего изменяется давление в этом процессе? (Ответ. Давление, например, уменьшается за счёт увеличения объёма и за счёт охлаждения газа.) Как доказать, что газ при адиабатном расширении охлаждается? (Указание. Следует вспомнить опыт (см. рис. 106), обратиться к первому закону термодинамики.) Итак, при каком процессе давление газа изменяется сильнее при изменении объёма? (Ответ. При адиабатном процессе.) Как по графику геометрически определить работу газа? Одинаковы ли значения работы в изображённых процессах? (Ответ. При сжатии газа от объёма V_0 до объёма V_1 большая работа совершается внешними силами при адиабатном процессе; при расширении от объёма V_0 до объёма V_2 большая работа совершается газом при изотермическом процессе.)

2. Адиабатный процесс может происходить и в других термодинамических системах, например в твёрдом теле. Фронталь-

но наблюдают следующий опыт: полоску резиновой плёнки от воздушного шарика (длина 7—10 см, ширина 3—4 см) резко растягивают, в качестве индикатора температуры используют кожу щеки. *Вопросы для обсуждения:* поведение какой системы изучается в опыте? Какие параметры системы изменяются? Как мы регистрируем изменение температуры? Изменяется ли внутренняя энергия системы? За счёт чего это происходит? Как доказать, что над системой совершается работа внешних сил? Как доказать, что наблюдаемый процесс адиабатный? Оцените время, в течение которого процесс можно рассматривать как адиабатный. (Ответ. Если полоску резиновой плёнки растягивать медленно, то повышение температуры не регистрируется, но в любом случае повышение температуры резиновой плёнки регистрируется не более одной секунды.)

3. Примеры задач для коллективного и индивидуального решения.

1. Газ, занимающий объём 2 м^3 под давлением $1,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$, изотермически расширяется, в результате чего его давление уменьшается до $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Происходит ли при этом теплообмен? Может ли такое явление наблюдаться без теплообмена? Совершает ли газ работу?
2. Вычислите работу, совершённую воздухом количеством вещества 1 моль при его изотермическом расширении от объёма 10 л до объёма 20 л, если газу сообщили количество теплоты, равное 5 Дж.

Вопросы: почему показания термометра уменьшаются, если его поместить в струю воздуха, вытекающего из камеры футбольного мяча? Что нагревается быстрее: литр воды или литр воздуха? Почему при холостом выстреле ствол ружья нагревается сильнее? (Ответ. По ходу ствола газ совершает меньшую работу, поэтому большая часть внутренней энергии идёт на теплопередачу.)

В конце урока одному или двум школьникам предлагается задача на карточке для устного ответа. *Дополнительные вопросы:* изменяются ли формулировки законов с течением времени? Почему это происходит? Какие обычно следуют изменения?

III. При подведении итогов урока повторяется таблица 26.

IV. *Домашнее задание:* § 85*, 86*; упр. на с. 283 (1).

Урок 7*. Решение задач

Урок 8*. Решение задач (резерв учителя)

Задачи урока: распространить применение первого закона термодинамики на более широкий круг тепловых явлений; продолжить формирование умения описывать физические явления с помощью величин и законов; на примере фазовых переходов провести сравнение энергетического и молекулярно-кинетического описаний явлений.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение. Совершенствование и контроль знаний	10—12	Решение задач. Ответы на вопросы
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ учителя. Опыты. Записи в тетради. Беседа
III. Совершенствование знаний и умений	10—15	Решение задач
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. У доски ученик решает задачу: П., № 399. Фронтально проверяется решение домашних задач, одновременно повторяется теория.

II. Среди тепловых явлений распространены и имеют важное значение в природе, технике и быту явления, названные **фазовыми переходами первого рода**. Участвующими в них системами являются газ или пар, жидкость, твёрдое тело или их сочетания. Обычно внешней причиной перехода системы из одного агрегатного состояния вещества в другое оказывается теплообмен, например испарение воды при нагревании, отвердевание при охлаждении (рис. 114). Для выяснения природы фазовых переходов важно применить и термодинамический, и статистический методы.

1. **Явление перехода жидкости в пар и наоборот** (используется таблица 20). Сначала демонстрируется опыт: испарение воды при обычной температуре (рис. 115). Обсуждают *вопросы*: как доказать, что происходит испарение воды? На основе чего можно доказать, что происходящий процесс тепловой? Между какими



Рис. 114

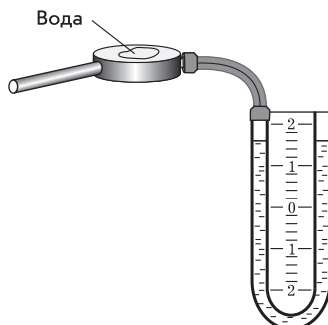


Рис. 115

системами происходит теплообмен? Поведение какой системы нас интересует? Зависит ли процесс испарения от температуры системы «жидкость»? (Для ответа демонстрируется опыт: испарение сильно нагретой воды в баночке, стакане; наблюдается визуально пар.) О чём это говорит? (Ответ. О более интенсивном характере испарения при других равных условиях. Можно изучить влияние площади поверхности жидкости, рода жидкости, ветра на установке с теплоприёмником — см. рис. 115.) Какие параметры системы меняются при переходе жидкость—пар? (Ответ. Плотность, форма, сжимаемость, теплоёмкость, упругость.)

Объясним процесс испарения на основе МКТ. *Вопросы:* изменяется ли состав изучаемой системы? (Ответ. Нет, число частиц, масса системы не изменяются.) Изменяется ли внутреннее строение системы? Изменяется ли характер движения частиц? Изменяется ли энергия взаимодействия частиц? (Ответ. Да, потенциальная энергия увеличивается; в идеальном газе она вообще равна нулю; таким образом, внутренняя энергия системы растёт.) Почему при кипении теплопередача не приводит к изменению температуры системы? За счёт чего разрушается связь (взаимодействие) молекул и молекула вылетает из жидкости без нагревания последней? (Ответ. Это происходит за счёт случайного сообщения нужной энергии отдельной частице в результате движения других.)

2. Явление перехода жидкости в твёрдое состояние и наоборот. Демонстрируется таяние льда. Обсуждаются *вопросы:* как доказать, что для превращения твёрдого тела в жидкость необходимо сообщение определённого количества теплоты? Изменяется ли температура льда, если он находится в комнате и тает? Происходит ли при этом нагрев льда? (Ответ. Нет.) Происходит ли теплообмен? (Ответ. Да, между льдом и другими системами — воздухом, столом и т. п.) Какие свойства твёрдого тела меняются при его плавлении? (Ответ. Механические: форма, объём, плотность, прочность, упругость; тепловые: теплоёмкость, теплопроводность.) Чем объясняется такое резкое изменение свойств вещества? (Ответ. Изменением структуры вещества, изменением характера движения и взаимодействия частиц.) Как доказать, что изменение свойств системы происходит не мгновенно? (Ответ. Следует обратить внимание на график плавления.) В чём согласно МКТ физический смысл удельной теплоты плавления?

Агрегатное состояние вещества зависит не только от температуры, но и от внешнего давления. На основе МКТ это легко объясняется: сжимая газ, можно, не понижая температуры, получить жидкость. Значит, фаза вещества зависит от значений двух параметров одновременно: T и p . В координатах T — p для каждой фазы вещества, например воды, можно экспериментально определить совокупность точек — получить диаграмму состояний

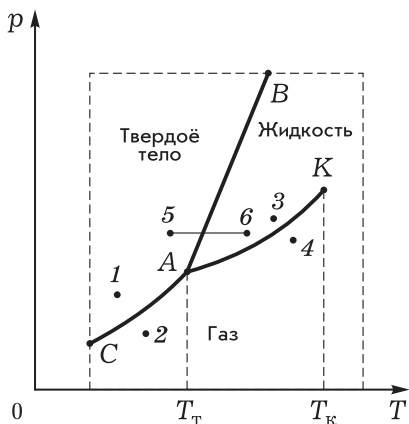


Рис. 116

вещества при той или иной температуре и давлении (рис. 116). Линия CA определяет состояния, при которых одновременно существуют твёрдое тело и газ, линия AB определяет состояния, при которых одновременно существуют твёрдое тело и жидкость. Что значит при этом точка A ? При таком давлении и температуре для данного вещества существуют в равновесии все три фазы — твёрдое тело, жидкость, газ; для воды температура тройной точки равна $273,16\text{ К}$. Точка K определяет **критическое состояние**, т. е. при данной и большей температуре теряется различие между жидкостью и газом. Беседа продолжается по *вопросам*:

какие процессы происходят при переходе вещества из состояния 1 в состояние 2, из состояния 4 в состояние 3? Как эти процессы можно осуществить? (Ответ. Первый — уменьшить давление и нагреть вещество; второй — охладить газ и повысить давление.) Как изобразить на графике процесс таяния льда, перенесённого зимой с улицы в комнату? (Ответ. Линия 5—6 на диаграмме.) Как изобразить процесс перехода газа в жидкость при повышении давления? Как на графике изобразить процесс кристаллизации вещества?

III. Приведём примеры задач для коллективного и индивидуального решения.

Задачи: П., № 407—410.

Задача.

Одинакова ли внутренняя энергия 1 кг воды и 1 кг пара? Может ли удельная теплота парообразования быть равной нулю? Всегда ли изменяется температура тела при передаче ему тепла? Оцените работу выхода молекулы воды при испарении, зная удельную теплоту парообразования ($2,26 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$). Какую установку для проверки предположения о постоянстве температуры кипения воды следует выбрать?

Примечание. Может быть предложен ряд рисунков, из которых следует выбрать нужный; может быть устный ответ с описанием оборудования.

IV. Домашнее задание: П., № 411.

Урок 9*. Решение задач

Задачи урока: продолжить формирование умений описывать термодинамические процессы с помощью физических величин и законов, определять в устной и письменной речи этапы решения задач, обосновывать практические и умственные действия.

I. Урок состоит из двух частей: вначале организуется повторение и углубление знаний при коллективном и индивидуальном решении задач, затем выполняется письменная работа по вариантам. Основной задачей остаётся выделение и описание тепловых явлений. Следовательно, необходимо знать ответы на *вопросы*: какие физические объекты мы изучали на предыдущих пяти уроках? (Ответ. Газ, жидкость, твёрдое тело.) Какова модель изучаемых объектов? (Ответ. Термодинамическая система со следующими характеристиками: внутренняя энергия, температура, давление, объём, теплоёмкость.) Какие процессы мы изучали? (Ответ. Изопроцессы с газами, теплообмен, фазовые переходы.) Какие характеристики состояния системы и какие средства описания процесса нам известны?

II. Двое-трое школьников всё время работают у доски; индивидуальные задачи предлагаются на карточках, из задачника; фронтально обсуждаются отдельные стороны решения задач.

1. Пример решения задачи.

При переходе из состояния A в состояние B газ совершает работу, причём происходит и теплообмен (рис. 117, *a*). Одинаковая ли совершается работа? Одинаковое ли количество теплоты передаётся газу? Одинаково ли изменяется внутренняя энергия газа в этих двух процессах?

Анализ физического явления. В тетради изображается график процесса, кратко записываются данные: объект — газ участвует в двух разных процессах. Нужно определить A_1 , A_2 , ΔU , Q_1 , Q_2 (см. рис. 117, *a*).

Очевидно, что масса газа остаётся постоянной, т. е. мы имеем одну термодинамическую систему. Оба процесса происходят при изменении всех трёх параметров — объёма, давления, температуры. Обозначим на графике параметры состояний начала и конца процессов (рис. 117, *b*). Они одинаковы для одного и другого процесса.

Идея решения. Для общего случая термодинамического процесса у нас нет формулы для расчёта работы, поэтому следует

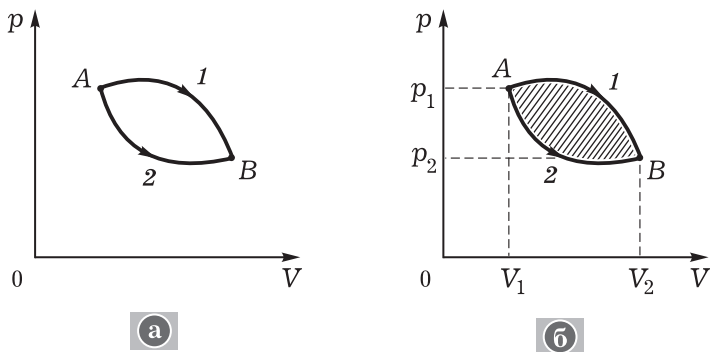


Рис. 117

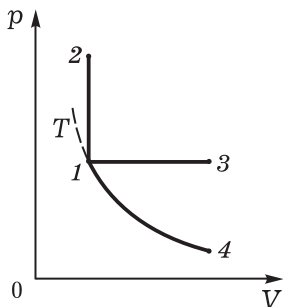


Рис. 118

использовать геометрическое истолкование работы как площади под графиком. Для любого процесса справедлив первый закон термодинамики, поэтому попытаемся его использовать.

Решение. Из сравнения площадей фигур $A1BV_2V_1$ и $A2BV_2V_1$ видим, что газ в первом процессе совершил большую работу: $A_1 > A_2$, причём больше на значение площади заштрихованного участка (см. рис. 117, б). Так как начало и конец обоих процессов совпадают, а внутренняя энергия является функцией состояния, то изменение внутренней энергии в этих процессах будет одинаково, т. е. $\Delta U_1 = \Delta U_2$, причём оно не равно нулю.

С помощью уравнения первого закона термодинамики сравним изменение количества теплоты:

$$\begin{cases} \Delta U_1 = Q_1 - A_1 \\ \Delta U_2 = Q_2 - A_2 \end{cases} \rightarrow Q_1 - A_1 = Q_2 - A_2, \\ Q_1 > Q_2.$$

Анализ решения. При совпадении начального и конечного состояний газ получает большее количество теплоты и совершает большую работу в том процессе, график которого лежит выше. Выполняется ли это правило, если графики пересекаются? Можно ли газ из состояния A перевести в состояние B без совершения работы? без теплообмена? Совершит ли газ какую-либо работу, если он из состояния A перешёл опять же в состояние A путём процесса $A1B2A$?

2. Примеры задач.

1. Изменяется ли внутренняя энергия газа и совершает ли он работу при переходе из состояния 1 в состояния 2, 3, 4 (рис. 118)? Во всех ли случаях газу передаётся одинаковое количество теплоты?
2. Как изменяется внутренняя энергия газа, если с ним происходят показанные на рисунке процессы (рис. 119, а—е)?

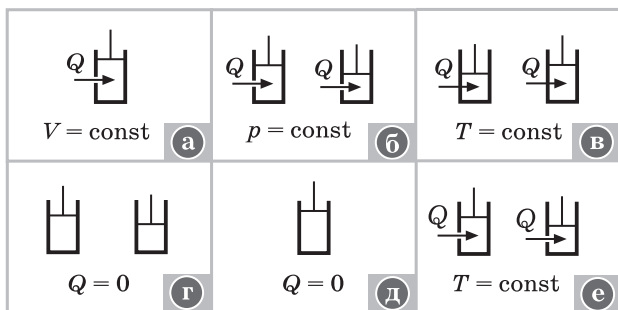


Рис. 119

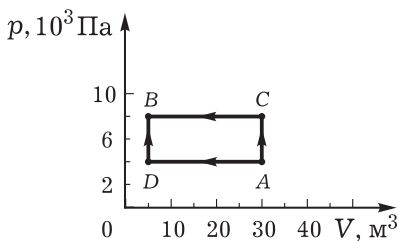


Рис. 120

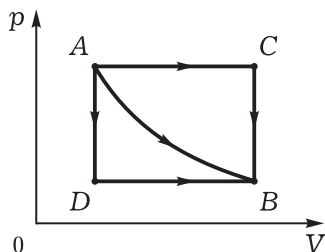


Рис. 121

Ответы: а) увеличивается; б) увеличивается ещё значительно; в) остаётся постоянной; г) увеличивается; д) остаётся постоянной; е) процесс невозможен.

3. Газ из состояния A переходит в состояние B двумя способами (рис. 120). Как определить количество теплоты, полученное газом в процессе ADB , если в процессе ACB он получил количество теплоты, равное Q_1 ?

Подсказка. $Q_1 - p_2(V_2 - V_1) = Q_2 - p_1(V_2 - V_1)$.

III. Самостоятельная работа (15—20 мин).

Вариант 1

- Газ из состояния A переходит в состояние B двумя способами (см. рис. 120). В каком случае совершается большая работа? Чему она равна?
- При передаче газу количества теплоты, равного $2 \cdot 10^4$ Дж, он совершил работу, равную $3 \cdot 10^4$ Дж. Чему равно изменение внутренней энергии газа? Нагрелся или охладился газ?

Вариант 2

- Идеальный газ из состояния A в состояние B переходит тремя разными способами (рис. 121). В каком случае совершается большая работа? Как изменяется внутренняя энергия газа? Какому состоянию соответствует большая температура?
- При изотермическом процессе газу сообщено $2 \cdot 10^8$ Дж энергии. Чему равно изменение внутренней энергии? Рассчитайте работу газа.

IV. Домашнее задание: упр. на с. 283 (3—5).

Урок 10. Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики

Задачи урока: ввести понятия об обратимом и необратимом процессах, систематизировать знания о видах тепловых процессов; сформулировать закономерность направлений протекания тепловых процессов, раскрыть её статистический смысл; продолжить формирование умения характеризовать термодинамические процессы.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Таблица. Записи на доске и в тетради. Работа с учебником
II. Отработка изученного материала	15—20	Решение задач. Беседа
III. Подведение итогов	3—5	Фронтальное повторение
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. На данном уроке продолжается изучение закономерностей термодинамических процессов. Логика изложения материала достаточно хорошо представлена в учебнике.

1. *Постановка учебной проблемы.* В ходе беседы обсуждают *вопросы*: допускает ли первый закон термодинамики передачу тепла от менее нагретого тела к более нагретому? (Ответ. Первый закон не запрещает этого процесса, он требует лишь сохранения энергии.) Наблюдаются ли такие процессы в природе? (Ответ. Нет.)

Направление тепловых процессов описывает **второй закон термодинамики**. Рассмотрим его содержание.

2. Сначала повторим и определим несколько свойств термодинамических процессов, одновременно заполняя таблицу (можно использовать таблицу 27).

Все термодинамические процессы делятся на **равновесные** и **неравновесные**. **Равновесным** называют процесс, в ходе которого в каждый момент времени система находится в равновесном состоянии. Напомним, что равновесное состояние характеризуется

одинаковостью свойств (параметров) всех частей системы. Из определения следуют

выводы: а) равновесный процесс — это бесконечно медленный процесс изменения параметров системы (иногда говорят о квазистационарном процессе); б) это модель реальных процессов; в) процессы природы всегда неравновесные — их можно описать с помощью модели равновесного процесса с той или иной степенью точности.

Вопросы для организации беседы: является ли процесс сжатия газа поршнем равновесным процессом? Какой из изображённых на рисунке процессов наиболее соответствует представлению о равновесном процессе (рис. 122)?

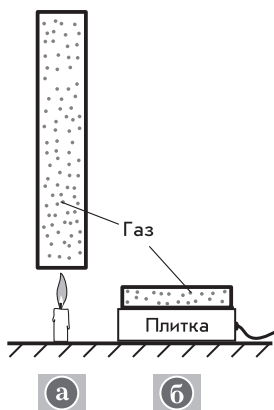
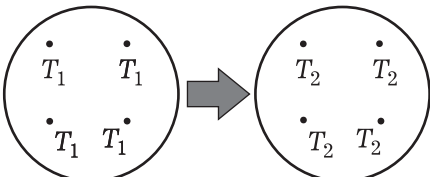
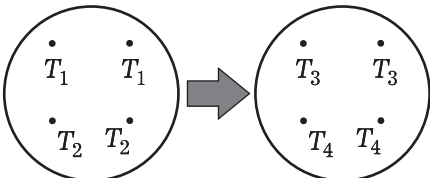
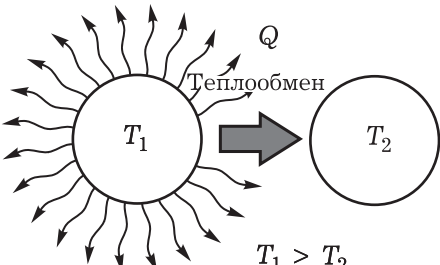
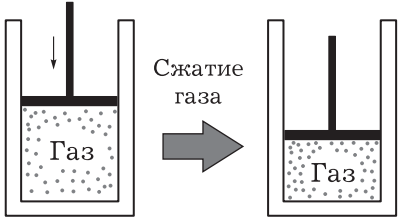




Рис. 122

Виды термодинамических процессов

Название процесса	Состояние термодинамической системы
Равновесный	
Неравновесный	
Самопроизвольный	
Несамопроизвольный	
Обратимый	
Необратимый	

(Ответ. Процесс β , так как здесь всем частям системы энергия сообщается более равномерно, поэтому в каждый момент времени лучше выполняются условия равновесия системы.)

Все термодинамические процессы можно разделить на **самопроизвольные** и **несамопроизвольные**. Последние происходят в системе только под действием внешних объектов. Для иллюстрации можно поставить и обсудить опыты.

Термодинамическая система — нагретое тело; процесс — теплообмен, остывание тела; характер процесса — самопроизвольный. Система — капля чернил (или кусочек сахара); процесс — растворение (диффузия) вещества в воде; характер процесса — самопроизвольный. *Вопросы для обсуждения:* изменяются ли при самопроизвольном процессе параметры системы? Какие? (Ответ. В разных процессах разные.) Наблюдаются ли самопроизвольные процессы в природе? (Ответ. Да, охлаждение нагретых тел, распространение запахов и др.)

Термодинамическая система — газ в цилиндре (например, в сильфоне); процесс — сжатие газа; характер процесса — несамопроизвольный. *Вопросы для обсуждения:* действуют ли внешние объекты на газ в сильфоне при его сжатии? Какие? Может ли сжатие газа происходить без этого действия? Какие параметры газа изменяются при его сжатии? Какие примеры несамостоятельных термодинамических процессов можно привести? (Ответ. Охлаждение продуктов в холодильнике, т. е. переход тепла от холодного тела (продукты) к тёплому (воздух комнаты); собирание пыли пылесосом; изменение формы твёрдого тела.)

Все термодинамические процессы делятся на **обратимые** и **необратимые**. **Обратимым** называют процесс, при котором возможен обратный переход системы из конечного состояния в начальное через все промежуточные состояния без изменений в окружающих системах. Чаще всего пример обратимого процесса приводят из механики — это колебания математического маятника без трения. Таким образом, обратимый процесс — идеальный процесс. **Необратимым** называют процесс, при котором обратный переход через те же состояния невозможен без внешних воздействий. Все реальные процессы в природе всегда необратимы. Так, колебания маятника (опыт) всегда затухают, механическая энергия переходит во внутреннюю. Теплопередача — всегда необратимый процесс. Совершенно невозможно явление нагревания печки за счёт охлаждения всей комнаты!

Вопросы для организации беседы: всегда ли систему, участвующую в процессе перехода из состояния A в состояние B , можно перевести через все промежуточные состояния из состояния B в состояние A ? (Ответ. Практически всегда, но для этого необходимо внешнее воздействие; процесс необратимый.) Докажите, что перечисленные процессы необратимы: сгорание топлива, отвердевание, испарение.

Обобщение проводится по *вопросам*: может ли неравновесный процесс быть обратимым? (Ответ. Нет.) Можно ли неравновес-

ный процесс изобразить графически? (Ответ. Нет, так как различные параметры частей системы.) Докажите, что при изучении термодинамики мы обычно рассматривали равновесные обратимые процессы.

3. Второй закон термодинамики описывает необратимость процессов в природе, указывает направления энергетических превращений. Он является гениальным обобщением многочисленных опытных фактов: разные учёные осмысливали разные факты, приходили к несколько различным формулировкам закона, но смысл их всех одинаков. Приведём несколько важнейших вариантов.

Впервые второй закон (второе начало) термодинамики сформулировал в 1850 г. немецкий физик-теоретик Р. Клаузиус (1822—1888). Несколько позднее он дал две простейшие формулировки: «Теплота не может переходить от более холодного тела к более нагретому, если одновременно не происходят в связи с этим другие изменения», «Переход теплоты от более холодного тела к более тёплому не может иметь места без компенсации» (Спасский Б. И. История физики. — М.: Высшая школа, 1977. — Ч. 2. — С. 26).

Почти одновременно, в 1851 г., формулировку второго начала термодинамики предложил английский физик У. Томсон (1824—1907), который утверждал, что в природе невозможны процессы, единственным следствием которых было бы совершение механической работы в результате охлаждения резервуара.

В рамках общей теории систем второй закон термодинамики приобретает смысл следующего утверждения: **все макроскопические процессы в природе самопроизвольно протекают только в одном определённом направлении.** Эту формулировку можно зачитать из учебника (с. 285). (Примечание для учителя. Современная формулировка второго закона термодинамики связана с определением **энтропии** — функции, характеризующей состояние системы. Энтропия является мерой упорядоченности системы: при переходе системы из менее вероятного, т. е. более упорядоченного, состояния в более вероятное энтропия возрастает. Итак, в замкнутых системах энтропия не убывает.)

Второе начало термодинамики — феноменологический закон. Не случайно в XIX в. его называли принципом, аксиомой, постулатом. Каков же его смысл? Чем объясняется направленность процессов в природе? Ответы на эти вопросы были даны австрийским физиком-теоретиком Л. Больцманом (1844—1906): в замкнутой системе самопроизвольный процесс идёт в направлении перехода от менее вероятного состояния в более вероятное.

Наиболее вероятным состоянием является равновесное состояние системы. Таким образом, второе начало термодинамики имеет статистический смысл, справедливо для систем из большого числа частиц. При такой трактовке смысла закона он приобретает теоретический характер.

При изложении нового материала советуем обращаться к формулировкам учебника, использовать условные рисунки

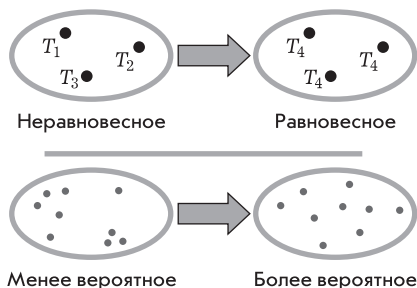


Рис. 123

суждения: можно ли термодинамическую систему «вода—нагретое тело» считать замкнутой? Почему? Происходит ли какой-либо процесс в этой системе? Какой? Как это доказать? Каков результат этого процесса? Может ли согласно второму закону термодинамики температура воды и тела остаться первоначальной? (Ответ. Нет, при статистической интерпретации может, но вероятность такого результата ничтожна.) Что надо сделать, чтобы система вернулась в первоначальное состояние? (Ответ. Воду охладить, тело нагреть.)

2. *Повторение* основных положений урока с помощью *вопросов*: как определить направления следующих макроскопических процессов: диффузия, теплопередача, движение тела, например автомобиля, по инерции? Какая система — из 4 частиц или из 400 частиц — более явно проявляет свойство необратимости распределения в пространстве при увеличении объёма системы (рис. 124)? Что такое флуктуация? (Ответ. Самопроизвольное отклонение системы от равновесного состояния.)

3. Коллективно, индивидуально с дальнейшим ответом для всего класса решаются следующие задачи.

1. Два одинаковых тела, находящиеся при разной температуре, привели в соприкосновение (демонстрируется опыт). Какой процесс будет происходить? Укажите направление теплообмена, обоснуйте теоретический ответ, покажите экспериментом.
2. Газ под действием груза сжат в цилиндре (рис. 125). Что произойдёт с газом, если убрать груз (температура постоянна)? Охарактеризуйте этот процесс.
3. Внизу стакана под перегородкой находится дым (рис. 126). Что произойдёт с дымом, если перегородку (лист картона) убрать?

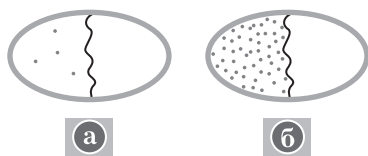


Рис. 124

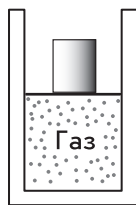


Рис. 125



Рис. 126

(рис. 123), продиктовать тезисный план, обращаться к беседе для активизации мысленных действий школьников.

II. Отработке изученного материала следует придать максимально конкретный характер. Остановимся на типичных методических решениях.

1. *Объяснение простого опыта.* В калориметр налита холодная вода, в неё опускается нагретое тело. *Вопросы для обсуждения:*

Какой это процесс? Докажите, что он подчиняется законам термодинамики. Изменится ли характер процесса, если в нижней части стакана будет всего две частицы?

4. В одном сосуде находится разреженный газ, в другом — сжатый. Какой процесс будет наблюдаться, если сосуды соединить? Обратимый ли это процесс?
5. Допускают ли законы термодинамики самопроизвольный подъём тела на некоторую высоту за счёт убыли своей внутренней энергии? Почему?

III. Подведение итогов организуется при повторении и обсуждении записей в тетради.

IV. *Домашнее задание:* § 87; упр. на с. 283 (8); Хрестоматия, с. 52—53.

Урок 11. Принцип действия тепловых двигателей

Задачи урока: ввести понятие о циклическом термодинамическом процессе; ознакомить с устройством и принципом действия тепловых двигателей; показать взаимосвязь развития физики и техники на примере тепловых двигателей; раскрыть роль и значение тепловых двигателей в современной цивилизации.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний. Постановка учебной проблемы	5—7	Фронтальное повторение. Диалог
II. Изучение нового материала	20—25	Работа с учебником. Записи в тетради. Беседа
III. Совершенствование знаний и умений	10—15	Решение задач. Демонстрация и обсуждение опыта
IV. Домашнее задание	1—3	Запись на доске

I. *Вопросы* для организации фронтального повторения: что такое термодинамическая система? Какими параметрами характеризуется её состояние? Каковы причины изменения состояния термодинамической системы? Какие процессы мы изучали? Какие законы процессов выяснили? Как формулируется второй закон термодинамики? Можно ли его сформулировать так: без совершения работы тепло переходит лишь от более нагретого тела к менее нагретому, а не наоборот? (О т в е т. Можно.) Какие тепловые процессы происходят в тепловой машине? (О т в е т. Сгорание топлива, при котором его внутренняя энергия переходит в энергию газа; температура последнего существенно выше, чем у топлива. Расширение газа. Теплообмен.)

Почему так важно изучить работу тепловых двигателей? Дело в том, что наша цивилизация — машинная цивилизация, причём большая часть машин — это тепловые машины разных видов. Но принцип их работы один; он основан на законах термодинамики. Несомненно, без тепловых двигателей жизнь общества сразу бы резко затормозилась, приняла бы другие формы... Поэтому тепловые двигатели — это великое достижение человеческой культуры, научной мысли людей Земли.

II. Одним из вариантов организации изучения вопроса являются самостоятельная работа с учебником, составление опорного плана-конспекта, коллективное обсуждение отдельных сторон материала, в частности формулировки принципа работы тепловых двигателей. За активность на уроке, за чёткий конспект, за решение задач может быть поставлена оценка. В качестве плана работы на доске предлагаются названия частей таблицы 28. Общее задание — определить содержание каждого элемента плана.

Обратимся к важнейшим положениям урока с соответствующими методическими комментариями.

1. Принцип работы теплового двигателя. Идея создания тепловых двигателей состоит в превращении части внутренней энергии тела (топлива) в механическую энергию других тел. Таким образом, возникает возможность совершения механической работы. *Вопросы:* в каком случае термодинамическая система совершает механическую работу? (Ответ. При расширении.) В каком процессе внутренняя энергия или сообщаемое системе количество теплоты полностью (а значит, эффективно) превращается в работу? (Ответ. В изотермическом и адиабатном процессах: $A = -Q$, $A' = -\Delta U$.) Итак, идея преобразования внутренней энергии топлива в механическую работу состоит в следующем: внутренняя энергия топлива при сгорании последнего преобразуется во внутреннюю энергию высокотемпературного газа, которая при расширении газа частично превращается в механическую работу.

Примеры процессов и соответствующих им преобразований энергии: а) выстрел ружья: сгорание пороха, работа газа по выталкиванию пули из гильзы и ствола; б) нагревание пробирки с водой и вылет пробки: получение высокоэнергетического пара, работа пара при расширении по выталкиванию пробки.

2. Тепловой двигатель и его устройство. Тепловой двигатель — это устройство для превращения внутренней энергии топлива в механическую. Разные двигатели устроены по-разному, но у всех есть общие элементы.

Во-первых, нужен объект, который совершает работу, — это газ; его называют **рабочим телом**.

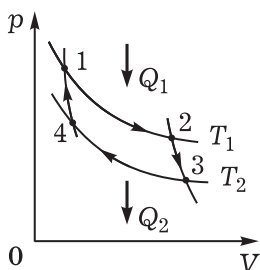
Во-вторых, согласно первому началу термодинамики необходим элемент по преобразованию внутренней энергии топлива в энергию газа — это **нагреватель**; во многих случаях нагреватель — это камера сгорания топлива.

Тепловые двигатели

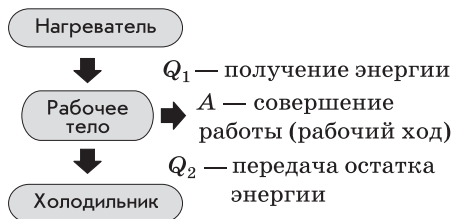
Принцип работы

I. Идея: превращение внутренней энергии топлива в работу

II. Идеальный цикл Карно:



III. Основные части двигателя и их работа:



Виды двигателей

- Паровая и газовая турбины
- Карбюраторный
- Дизельный
- Ракетные двигатели: турбореактивные, прямоточные воздушно-реактивные и др.

Применение

- Паровые турбины ТЭС и АЭС
- Двигатели на легковых и грузовых машинах, тракторах и т. п.
- Турбореактивные и реактивные двигатели самолётов, ракет
- Двигатели на водном и железнодорожном транспорте
- Двигатели в быту: холодильники, бензопилы и др.

Проблемы

- Тепловое и химическое загрязнение среды
- Невосполнимость углеродного горючего
- Борьба за повышение КПД

В-третьих, согласно второму закону термодинамики не вся энергия газа превращается в работу, часть её отдаётся **холодильнику**. Это третий общий элемент тепловых двигателей; во многих случаях, к сожалению, это внешняя среда, воздух.

3. Как обеспечивается постоянная работа теплового двигателя? Какие процессы лучше всего выбрать? С теоретической точки зрения процесс, в котором участвует термодинамическая система, должен быть круговым, т. е. система должна возвращаться в первоначальное состояние (см., например, процесс на рисунке 117). Идеальный термодинамический цикл (модель) теплового двигателя впервые в 1824 г. предложил французский учёный Сади Карно (1796—1832). В своей работе он даёт ответы на вопросы, актуальные и сейчас: существует ли предел улучшения тепловых двигателей? Как влияет на эффективность работы теплового двигателя выбор рабочего тела (Хрестоматия, с. 48)? Рассмотрим последовательно цикл Карно.

Сначала газ изотермически расширяется при температуре T_1 (см. табл. 28). Совершается работа, численно равная количеству теплоты, полученному от нагревателя: $A_{1,2} = Q_1$.

Далее газ адиабатно расширяется от состояния 2 до состояния 3, совершается работа за счёт убыли внутренней энергии газа: $A_{2,3} = -\Delta U_1$. Отсюда температура T_2 газа становится ниже температуры T_1 .

Затем газ изотермически сжимается, внешними силами совершается работа. Но внутренняя энергия газа не изменяется. Значит, газ должен отдавать холодильнику количество теплоты, равное работе внешних сил, т. е. $-Q_2 = A_{3,4}$.

Для завершения цикла газ адиабатно сжимают от состояния 4 до состояния 1. Естественно, внешние силы совершают работу $A_{4,1} = \Delta U_2$; температура газа растёт, так как теплообмен с внешней средой исключён.

Цикл Карно — идеальный. Он рассматривается для идеального газа; на практике абсолютно адиабатный процесс неосуществим: невозможно резко перейти от изотермического процесса к адиабатному.

Покажем, что работа газа за цикл не равна нулю, т. е. существует полезная работа газа. Используя геометрический смысл работы, это легко сделать графически: для каждого процесса вычислить площадь, затем выполнить сложение и вычитание. Метод циклов Карно, если известен масштаб, позволяет по графику цикла оценить работу.

4. Характеристики тепловых двигателей. Следует отметить, что технических характеристик двигателей может быть много: масса и объём двигателя, число цилиндров, степень сжатия смеси в карбюраторных (до 8—9) и дизельных (до 16—18) двигателях, вид топлива и др. Полезно ознакомить школьников с диаграммой распределения энергии на примере одного из тепловых

двигателей — карбюраторного двигателя внутреннего сгорания (рис. 127).

Важнейшей характеристикой двигателей является **коэффициент полезного действия**. Впервые это понятие было введено в курсе физики основной школы, на данном уроке следует повторить определение и придать ему математическую форму. Итак, **КПД** — это характеристика теплового двигателя, равная отношению энергии, которая затрачена на работу, ко всей энергии, полученной от сгорания топлива. По закону сохранения энергии работа газа $A = Q_1 - Q_2$. Отсюда получаем

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Вопросы для организации беседы: может ли КПД быть равен единице? Какому закону термодинамики это противоречит? (О т в е т. Второму.) Чему равен КПД указанного теплового кругового процесса (рис. 128)? Докажите, что КПД указанных тепловых процессов 1234 и 1256 не одинаков (рис. 129). Докажите, что КПД указанного термодинамического процесса не нулевой (рис. 130). Увеличится ли КПД теплового двигателя, если увеличить число цилиндров? Чем отличается реальный термодинамический цикл от идеального? (О т в е т. Неравновесный процесс; цикл условно замкнутый, так как продукты сгорания обычно выбрасываются во внешнюю среду; КПД всегда меньше КПД соответствующего идеального цикла.)

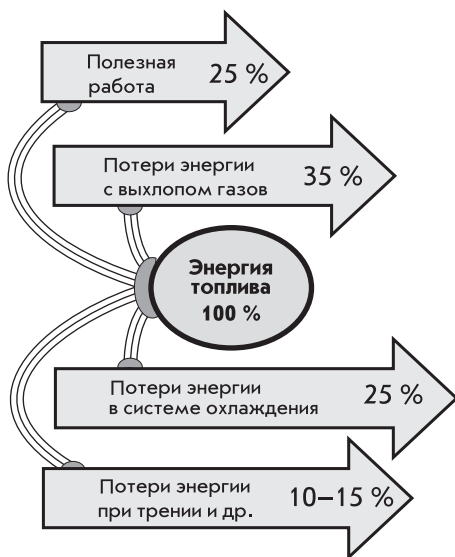


Рис. 127

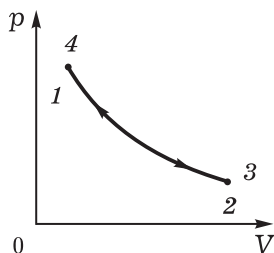


Рис. 128

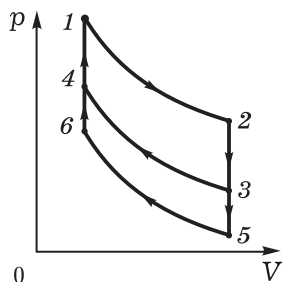


Рис. 129

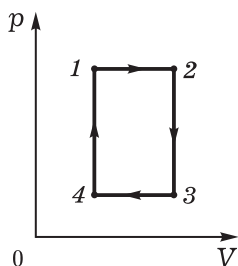


Рис. 130

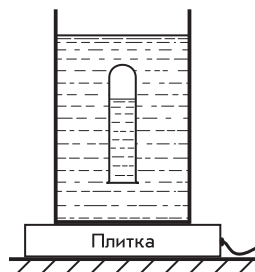


Рис. 131

III. Отработка и углубление изученного материала продолжается при решении задачи.

Собрана установка из электроплитки и высокого химического стакана с водой (рис. 131). Внутри воды находится перевернутая пробирка, частично заполненная водой. Предскажите поведение пробирки при нагревании жидкости. Ответ теоретически обоснуйте и проверьте экспериментально.

Методические указания. Рисунок установки изображён на доске, сама установка закрыта экраном, вода предварительно нагрета до $80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$. По мере нагревания воды нагревается и воздух в пробирке, более того, при кипении в верхнюю часть пробирки попадают всплывающие пузырьки пара. В результате из пробирки вытесняется часть воды — пробирка начинает всплывать. При соприкосновении пробирки с наружным воздухом она немного остывает и вновь погружается в воду. Процесс становится периодическим — имеем модель теплового двигателя. Что здесь является холодильником, нагревателем, рабочим телом?

У доски один из школьников с помощью класса изображает принципиальную блок-схему холодильника как тепловой машины (рис. 132). **Вопросы:** как записать формулу для КПД холодильника? Что является рабочим телом бытового холодильника? (Ответ. Газы фреон, аммиак и др.) Что в холодильнике является нагревателем? (Ответ. Продукты в камере.) Можно ли в

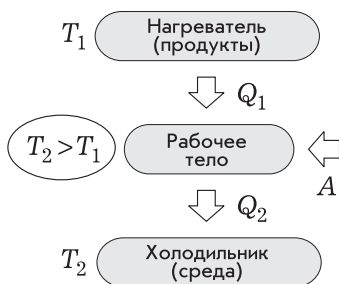


Рис. 132

этом случае утверждать, что нагреватель не нагревает, а холодильник такую тепловую машину не охлаждает? (Ответ. Нагреватель нагревает рабочее тело, сам охлаждается, и, таким образом, полость нагревателя, ограниченная стенками холодильника, охлаждается.)

IV. Домашнее задание: § 88; П., № 442. Индивидуально может быть предложена конструкторская задача по разработке проектов и созданию моделей тепловых двигателей.

Урок 12*. Решение задач

Задачи урока: продолжить формирование умений выделять и описывать термодинамические процессы, в частности характеризовать КПД идеального цикла тепловых двигателей; уделить внимание контролю знаний школьников, организации исправления недостатков.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Совершенствование знаний и умений	20—25	Повторение теории. Решение задач. Обсуждение результатов
II. Контроль знаний и умений	20—25	Письменная работа: тест или задачи
III. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Повторение и углубление ранее изученного материала организуется в форме выполнения коллективных и индивидуальных заданий. По усмотрению учителя некоторые из них проговариваются и обсуждаются.

1. Нескольким ученикам предлагается письменно воспроизвести опорный конспект предыдущего урока (см. табл. 28). Одновременно один из учеников делает сообщение об индивидуальном задании. Фронтально повторяют *вопросы*: какие термодинамические процессы вы знаете? Каковы основные законы этих процессов? В чём заключается значение устройства, названного тепловым двигателем? Каковы основные его элементы? В чём состоит принцип его действия? Докажите, что работа теплового двигателя подчиняется законам термодинамики. Как определить КПД теплового двигателя? На каком из участков графика цикла теплового двигателя рабочее тело находится в контакте с нагревателем, на каком — с холодильником (рис. 133)? Совершает ли такой двигатель полезную работу?

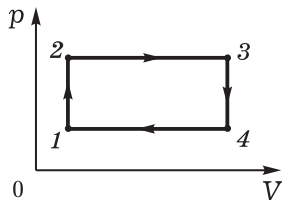


Рис. 133

2. После повторения теории учитель делает дополнение. Для идеального цикла Карно КПД может быть вычислен по формуле

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

т. е. КПД зависит лишь от температуры нагревателя и холодильника.

3. Решают задачи, подобные приведённым ниже.

1. Оцените КПД двигателя дизеля, если при сгорании горючей смеси температура повышается до 2000°C .
2. Оцените КПД ранее продемонстрированного теплового двигателя в предположении, что наблюдаемый процесс идеальный (см. рис. 131).

Вопрос для размышления: насколько сильно мы ошиблись при оценке КПД? (Ответ. Нагреватель имеет температуру 100°C , холодильник — температуру воздуха; отсюда $\eta = 20\%$. Если считать тепловую машину паровой, то с учётом её простейшей конструкции КПД не может быть больше 10% , т. е. ошибка более чем в два раза.)

3. В идеальной тепловой машине с КПД 30% количество теплоты, полученное газом от нагревателя, равно 10 кДж . Чему равна температура нагревателя, если температура холодильника 23°C ? Какое количество теплоты получил холодильник?

Вопросы: к какому виду тепловых двигателей можно отнести ружьё, холодильник? (Ответ. К поршневым.) Докажите, используя формулу для КПД теплового двигателя, что абсолютный нуль недостижим. Каковы направления совершенствования тепловых двигателей? (Ответ. Повышение КПД за счёт повышения температуры нагревателя, сокращения тепловых потерь, использования экологически более чистого топлива — водорода и др.; изменение пропорции тепловых двигателей в сторону более экономичных; улучшение за счёт регулирования процессов сгорания.)

II. Для самостоятельной работы лучше подобрать тест (см., например: Кабардин О. Ф. Задания для итогового контроля знаний учащихся по физике. — М.: Просвещение, 1994. — С. 114).

III. Домашнее задание: § 89*; упр. на с. 294 (1, 2).

Урок 13*. Конференция на тему «Тепловые двигатели и их роль в жизни человека»

Подготовка конференции начинается с первого урока темы, школьники делятся на группы, получают задания. На этом уроке представители групп выступают с докладами, отчётами.

Приведём примеры заданий.

1. Научно-популярная литература по термодинамике.
2. Двигатели внутреннего сгорания.
3. С. Карно — создатель термодинамики.
4. Интересные проекты и модели тепловых двигателей. (При хорошей организации возможен конкурс с награждением.)
5. Пути повышения КПД тепловых двигателей.
6. Применение тепловых двигателей.
7. Экологические проблемы использования тепловых двигателей. (Желательно использование краеведческого материала. На уроке может быть проведён конкурс. Задачи предлагают заранее, сюжеты их разнообразны — исторические, экономические и т. п.)
8. Решение и (или) составление задач по термодинамике.

Часть III.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

В 10 классе изучают электродинамику статических и стационарных явлений. Все рассматриваемые явления наглядно демонстрируются. Модели объектов и явлений, а также другие средства описания просты (наглядны) и доступны. В целом методические средства усвоения отработаны достаточно хорошо.

ГЛАВА XII. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

В первой теме раздела «Электродинамика» школьники входят в мир новых явлений, знакомятся — пока ещё только на примере электростатики — с важнейшими характеристиками заряда (величина, знак, наименьший заряд), электрического поля (напряжённость, потенциал, энергия, силовые линии). Основное внимание при изучении темы должно быть обращено на формирование устойчивого умения описывать простейшие системы неподвижных зарядов и их полей.

В самых общих чертах логика изучения данной темы такова: типичные объекты и явления электростатики, средства их описания, практическое применение изученных явлений.

В обобщённой форме основное содержание темы может быть представлено так:

<i>Объект</i>	— система зарядов, поле.
<i>Явление</i>	— взаимодействие зарядов, действие поля на заряд, электрические поля разных источников.
<i>Средство описания</i>	— физическая величина (заряд, напряжённость, потенциал, напряжение, энергия, ёмкость), закон Кулона, закон сохранения заряда, механизм взаимодействия.
<i>Техническое применение</i>	— конденсатор, электростатическая защита, измерение напряжения, применение диэлектриков.

Здесь факт — это физический объект или явление; модель — средство описания; следствие — решение какой-либо задачи или объяснение явления природы; эксперимент — это не только техническое применение, но и любой опыт, которым проверяется истинность наших знаний.

Урок 1. Что такое электродинамика. Взаимодействие электрических зарядов

Задачи урока: познакомить учащихся с разделом физики «Электродинамика»; изучить закон сохранения заряда, явление электризации тел на основе электронной теории, важнейшие факты из истории развития электродинамики; раскрыть значение теории этого раздела для понимания окружающих явлений; показать вклад русских учёных-физиков (Г. Рихман, А. С. Попов, Б. С. Якоби, Н. А. Умов и др.) в развитие электродинамики.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	25—30	Рассказ учителя. Использование таблицы. Записи в тетради. Беседа. Решение экспериментальных задач
II. Самостоятельная работа	10—15	Работа с учебником. Письменные ответы на вопросы
III. Подведение итогов. Домашнее задание	1—2	Сообщение учителя

I. В физическом энциклопедическом словаре наука электродинамика определяется как теория поведения электромагнитного поля, осуществляющего взаимодействие между электрическими зарядами. Для школьников важно дать образец ответа на *вопросы*: что изучает электродинамика? За происхождение каких явлений ответственно электромагнитное взаимодействие?

Электродинамика изучает физические явления, связанные с движением и взаимодействием электрических зарядов и с поведением электромагнитного поля. Электромагнитные взаимодействия — это самые распространённые взаимодействия в окружающем нас мире.

Целесообразно с помощью таблицы 29 показать предметную область электродинамики, вид взаимодействия, а также некоторые типичные явления.

Электромагнитное взаимодействие ответственно за химические реакции и биологические процессы. Такое взаимодействие лежит в основе громадного количества явлений, а так как эти явления широко используются в жизни, например в технике, то электродинамика, описывающая электромагнитные взаимодействия, является одной из самых важных теорий физики.

Вопросы: какие явления, изучаемые в механике, обусловлены электромагнитным взаимодействием? Возможно ли представить современную цивилизацию без использования таких электромагнитных явлений, как электрический ток, электромагнитные волны и др.? (Докажите.)

Таблица 29

Теория	Объект	Вид взаимодействия	Явление
Механика	Макроскопическое тело: от атома до звезды	Гравитационное. Электромагнитное	Движение и равновесие всех окружающих нас тел. Явление трения и др.
Молекулярная физика	Система из большого числа частиц, например газ. Термодинамические макросистемы — любое макротело	Электромагнитное	Тепловое движение. Взаимодействие атомов и молекул, какое-либо свойство газов, жидкостей и твёрдых тел
Электродинамика	Электромагнитное поле. Заряды	Электромагнитное	Взаимодействие заряженных тел. Электрический ток. Электромагнитная волна. Свет

Учитель знакомит школьников со структурой раздела «Электродинамика», сообщает важнейшие факты из истории её становления.

Повторение и углубление знаний о зарядах и их взаимодействиях проводятся в ходе *беседы*, которая сопровождается решением экспериментальных задач.

1. Как доказать, что данное тело заряжено?

Ответ. Надо рассмотреть взаимодействие данного тела с заряженным. Если данное тело притягивается или отталкивается от заряженного тела, то это значит, что оно само заряжено (проводится опыт).

Вопрос для обсуждения: как доказать, что в данном случае наблюдаем электромагнитное взаимодействие, а не гравитационное? Для ответа на такой вопрос можно решить задачу на расчёт гравитационного взаимодействия тел, например взаимодействия двух гильз, которое чрезвычайно мало и проявление которого незаметно. Задачу самостоятельно решает один из школьников, который затем сообщает всем результат.

2. Почему разные заряды взаимодействуют по-разному? В чём это проявляется?

Демонстрируют следующие *опыты*: притяжение и отталкивание станиолевых гильз; взаимодействие двух заряженных гильз

при увеличении расстояния между ними; взаимодействие двух станиолевых гильз при разных значениях их зарядов.

Вопросы для обсуждения: как доказать, что гильзы заряжены зарядами одного знака? Какое поведение зарядов позволяет сделать вывод о том, что при увеличении расстояния их взаимодействие уменьшается? Как доказать, что один из двух зарядов больше другого? (Ответ. С помощью третьего заряда.)

3. Как происходит электризация тел? Что происходит при электризации тел?

У к а з а н и е. Решение этой задачи основано на использовании электронной теории.

Таким образом, основное содержание изучается с помощью постановки и решения экспериментальных задач. Часть из них можно повторить на следующем уроке, но повторение эксперимента и решение этих задач должны выполнять учащиеся. Приведём несколько примеров.

Опыт 1. Две пластинки (из эбонита и оргстекла) на изолирующих ручках потрите одну о другую, затем поочерёдно внесите в кондуктор электрометра (как электроскопа), не касаясь его.

Вопросы: почему показания электрометра одинаковы? Каковы будут показания электрометра, если внести обе пластинки сразу?

Опыт 2. Наэлектризованную трением о бумагу пластинку из оргстекла поднесите к шару электрометра и коснитесь его. *Вопросы:* почему при удалении пластинки показания электрометра становятся нулевыми? Как и почему изменятся показания, если провести несколько раз пластинкой по шару?

Опыт 3. Проиллюстрируйте и проверьте, возможно ли получение на концах эбонитовой палочки двух одновременно существующих разноимённых зарядов.

В первом опыте на пластинках образуются равные по модулю и противоположные по знаку заряды, следовательно, при электризации заряды не возникают, а только лишь перераспределяются.

Учитывая это, можно сформулировать **закон сохранения заряда**. Далее учитель может сообщить, что представления о сохранении заряда сложились ещё в XIII в., но доказательное обобщение сделал в 1838 г. М. Фарадей. Он писал: «Невозможно ни создать, ни уничтожить одну из электрических сил без равного и соответствующего изменения другой» (Дук ов В. М. Исторические обзоры в курсе физики средней школы. — М.: Просвещение, 1983. — С. 54).

Обсуждают *вопросы:* какую систему в данном опыте можно считать замкнутой? Будет ли выполняться закон сохранения заряда, если одна из пластинок стальная?

Во втором опыте следует исключить побочное явление электризации пробоем, поэтому палочку заряжают слабо. Делают **вывод**, что при электризации трением с одного из тел заряды снимаются; при этом оба взаимодействующих тела заряжаются. Можно просто незаряженной палочкой потереть о шар электро-

метра и зарядить палочку и шар. *Учебная проблема:* какие заряженные частицы переходят. Эту проблему решают теоретически с помощью *вопроса:* могут ли положительные заряды, т. е. ионы кристаллической решётки, переходить из одного тела в другое?

Решение качественных экспериментальных задач необходимо сопровождать схематическими рисунками в тетрадах учащихся. По ним в дальнейшем может быть повторен опыт или составлены новые задачи. При рассмотрении теоретического материала не следует стремиться к максимально полному рассказу. Дополнительные знания можно предложить ученикам получить при самостоятельной работе с учебником. При отсутствии времени работа переносится на следующий урок.

II. Самостоятельная работа.

Вариант 1

1. Приведите примеры физических явлений, которые изучает электродинамика. Обоснуйте свой ответ.
2. Докажите (теоретически и экспериментально) равенство зарядов при электризации. Ответ сопроводите схематическими рисунками.

Вариант 2

1. Кратко опишите, как происходит электризация тел. (Желательно при этом выполнить рисунки.)
2. Запишите в математической форме закон сохранения электрического заряда. При каких условиях он выполняется?

III. Домашнее задание: § 90; упр. на с. 300 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 448, 449.

Урок 2. Закон Кулона

Задачи урока: ввести понятия «точечный заряд», «закон Кулона», «электрическая постоянная», «единица заряда», «границы применимости закона Кулона», а также ознакомить с историей открытия закона; сформировать представление о роли опыта в открытии законов; сформировать умение решать задачи на закон Кулона.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение изученного материала	10	Беседа. Решение качественных и экспериментальных задач
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ. Использование таблицы. Демонстрация. Записи в тетради
III. Решение задач	15	Пример решения задачи. Работа в тетради
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Вопросы для организации беседы: какие взаимодействия называют электромагнитными? В чём проявляется взаимодействие зарядов? (О т в е т. В отталкивании и притяжении.) В чём состоит процесс электризации тел согласно электронным представлениям? Как доказать равенство зарядов, приобретаемых телами при их электризации? Как и почему происходит изменение заряда положительно заряженного проводника при соединении его с землёй? Ученики решают задачи на карточках, выданных учителем.

1. Тела, обладающие зарядами $5 \cdot 10^{-6}$ и $-8 \cdot 10^{-6}$ Кл, привели в соприкосновение и развели. Будут ли они взаимодействовать? Если будут, то как?
2. Определите возможные знаки зарядов тел, если они взаимодействуют так, как показано на рисунке 134.

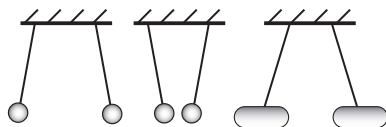


Рис. 134

3. (экспериментальная). Известно, что органическое стекло, потёртое о бумагу, заряжается положительно. Определите экспериментально знак заряда пластмассовой расчёски, потёртой о шерсть. Используйте электроскоп как дополнительное оборудование. Предложите несколько своих вариантов для решения этой задачи.

II. При изучении нового материала сначала вводятся два понятия: электростатика и точечный заряд. Поставить учебную проблему можно таким образом. Среди всех взаимодействий зарядов наиболее простыми являются взаимодействия неподвижных зарядов. Для их количественного описания используют модель точечного заряда. *Вопросы:* почему это необходимо? (О т в е т. Моделирование точечными зарядами заряженных тел позволяет отвлечься от второстепенных деталей — формы, размеров — и остановиться на главном, т. е. сформулировать закон взаимодействия зарядов.) При каких условиях можно моделировать заряженное тело точечным зарядом? (При обсуждении вопросов используется аналогия из механики: тело — материальная точка.)

При рассмотрении опыта Кулона используют элементы беседы. Приводим *примерные вопросы:* почему в установке Кулона использовались маленькие металлические шарики? Каким образом Кулон измерял силу взаимодействия зарядов? Какие трудности могли возникнуть у Кулона при проведении опытов? Почему для того, чтобы сформулировать закон, одних опытов оказалось недостаточно? (О т в е т. Надо иметь представление о точечном заряде, т. е. иметь ещё и теоретические идеи.)

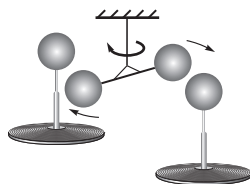
В тетради и на доске выполняются записи (табл. 30).

III. Для формирования у школьников умения решать задачи и учитель показывает один пример.

Явление взаимодействия зарядов

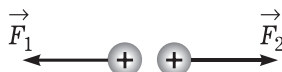
Факты

- Два рода зарядов: $+q$ и $-q$
- Явление взаимодействия неподвижных заряженных тел
- Опыты с крутильными весами



Модель

- Модель заряженного тела — точечный заряд
- Модель взаимодействия зарядов на расстоянии — электрическое поле



- Закон Кулона: $F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

Следствия

- Определение k : $k = \frac{Fr^2}{q_1 q_2} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$
- Расчёт силы взаимодействия зарядов в вакууме и диэлектрике
- Определение границы применимости закона Кулона

Два одинаковых шарика массой m каждый подвешены к одной точке на нитях, каждая из которых имеет длину l . Когда шарикам сообщили одинаковый заряд q , они разошлись на расстояние r . Определите натяжение каждой нити.

Анализ физического явления. В задаче рассматривается условие равновесия двух зарядов. Причина равновесия любого из них — это действия нити, Земли и другого заряда. Каждое из этих действий характеризуется силой, поэтому условием равновесия зарядов будет равенство нулю геометрической суммы всех сил, действующих на каждый заряд.

В процессе анализа учитель задаёт *вопрос*: почему данная задача решается в электродинамике, хотя рассматриваемое явление внешне чисто механическое? (Ответ. Природа одной из сил, в существенной степени определяющей явление, — электростатическая.)

Математическую часть решения задачи можно рассмотреть по учебнику (с. 305). В заключение решения следует ещё раз обсудить *вопросы*: почему в задаче рассматриваются точечные заряды? Как проверить её решение? Изменится ли натяжение каждой нити, если взаимодействовать на прежнем расстоянии будут такие же по значению, но разные по знаку заряды?

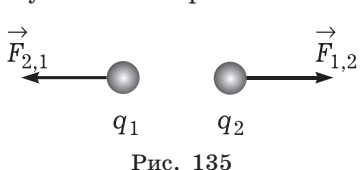
В качестве примера решения задачи можно взять более простую задачу. В конце урока школьники решают задачи самостоятельно, например такие: П., № 451, 454, 457.

IV. Домашнее задание: § 91, 92*; упр. на с. 307 (1).

Урок 3*. Решение задач

Задачи урока: сформировать умение применять закон Кулона для описания взаимодействия зарядов, решая задачи на описание равновесия тел под действием разных сил.

I. После организационной части учитель проводит устный опрос. Один из учеников у доски рассказывает об основном законе электростатики. Для помощи при ответе можно на листочке предложить *вопросы*: что такое электростатика? Для каких объектов сформулирован закон Кулона? Каким является закон Кулона: экспериментальным или теоретическим? Какова математическая формулировка этого закона? Выполняется ли третий закон динамики для электростатического взаимодействия зарядов? Почему?



Другой учащийся у доски решает задачу.

Силы взаимодействия точечных зарядов, имеющих равные значения, изображены на рисунке 135. Расстояние между зарядами r . Изобразите силы взаимодействия в случае, если расстояние между зарядами уменьшить в 2 раза; знак одного заряда изменить на противоположный; один заряд уменьшить (увеличить) в 2 раза; оба заряда уменьшить в 2 раза, а расстояние увеличить в 2 раза.

При объяснении задачи у доски школьники записывают её решение в тетради.

II. На данном уроке решается *учебная проблема*: как применять закон Кулона для описания взаимодействия зарядов. Главное для учителя — организовать самостоятельную работу школьников по решению задач. Сначала решают задачу коллективно.

На каком расстоянии нужно поместить в вакууме два точечных заряда $5 \cdot 10^{-9}$ и $6 \cdot 10^{-9}$ Кл, чтобы они отталкивались с силой $1,2 \times 10^{-4}$ Н?

Одновременно с решением этой задачи один из школьников готовит опыт по электризации или взаимодействию зарядов. Пример задания на листочке: будут ли (и почему) изменяться показания электрометра, если в кондуктор через пластмассовую воронку насыпать песок? (Постановка и объяснение этого опыта развивают интерес учащихся, а также формируют у них умение объяснять явления. Этот приём следует использовать систематически.)

Возможны разные способы дальнейшей организации урока. Так, самостоятельную работу по вариантам можно сочетать с одновременным решением отдельных задач у доски, например: П., № 455, 458. Объяснение решения задачи учащиеся могут только слушать, коллективно обсуждая его основные этапы.

В конце урока некоторые учащиеся сдают свои тетради на проверку учителю.

III. *Домашнее задание*: упр. на с. 307—308 (2, 3, ЕГЭ).

Урок 4. Механизм взаимодействия электрических зарядов

Задачи урока: продолжить формирование понятия «электрическое поле», ввести его основную характеристику; изучить принцип суперпозиции электрических полей; продолжить формирование мировоззрения учащихся при описании идей дальнего действия и ближнего действия.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	5—7	Фронтальный опрос
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ учителя. Записи на доске и в тетради. Беседа
III. Решение задач	15	Самостоятельная работа. Работа у доски
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Беседа. Запись на доске

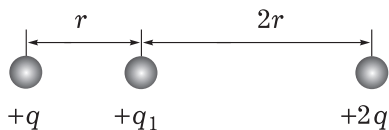


Рис. 136

I. Контроль за домашней подготовкой учащихся осуществляется при беглом просмотре тетрадей и в беседе по *вопросам*: что изучает электродинамика? Какое новое физическое явление нами изучено на прошлом уроке?

Каков закон этого явления? Что такое точечный заряд? Для чего мы используем это понятие?

Двое школьников отвечают письменно на *вопросы* (можно раздать карточки): какие силы действуют на заряд q_1 (рис. 136)? Изобразите их. Определите результирующую силу. Почему на концах эбонитовой палочки можно одновременно получить два разноимённых заряда? В чём сходство и различие закона всемирного тяготения и закона Кулона? (П., № 447.)

II. Изучение нового материала начинается с постановки *учебной проблемы*: как осуществляется взаимодействие зарядов.

В науке мало просто обнаружить экспериментальный факт взаимодействия зарядов. Необходимо понять причину, природу и механизм такого взаимодействия. Для показа явления демонстрируется взаимодействие заряженных станиоловых гильз. *Вопрос*: как осуществляется взаимодействие зарядов на расстоянии? Учитель поясняет, что исторически возникли две точки зрения на процесс взаимодействия. Учащиеся заполняют таблицу (можно использовать таблицу 31) в тетрадях и слушают краткий комментарий учителя.

Таблица 31

Дальнодействие	Близкодействие
1. Взаимодействие объектов без посредников, без среды	1. Взаимодействие объектов посредством особой материальной среды — поля
2. Мгновенно	2. С конечной скоростью. Наибольшая скорость передачи взаимодействия равна 300 000 км/с

Затем учитель сообщает, что согласно теории близкодействия около каждого заряда существует электрическое поле — новый для учащихся физический объект. Впервые представление о поле в физике ввёл М. Фарадей. (Учащиеся открывают учебник и читают материал об этом учёном. Один из школьников выступает с кратким докладом.) Учитель продолжает рассказ: поле непрерывно в пространстве и действует на заряды... Затем одному из учеников предлагается объяснить взаимодействие гильз с этой точки зрения.

Для закрепления представления о материальности поля можно обсудить *вопросы*: одинаково ли поле на разных расстояни-

ях от заряженной гильзы? На основе каких экспериментальных фактов можно сделать вывод о том, что электрическое поле непрерывно? Как бы вёл себя заряд в поле, если бы оно было прерывно? Изменяется ли с течением времени поле неподвижного заряда? На основе каких экспериментальных фактов делается такой вывод? (Ответ. Если через некоторое время к заряженной станиоловой гильзе поднести заряд, то будет наблюдаться действие поля гильзы на пробный заряд.) Возникает *вопрос*: изменяется ли это действие?

Далее учитель сообщает, что поле обнаруживают по его действию на пробный заряд. По учебнику школьники выясняют, что силовой характеристикой поля является **напряжённость**:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left(\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right).$$

На доске и в тетрадях делают записи формулы для напряжённости поля точечного заряда. Обсуждают *вопрос*: как направлен вектор напряжённости поля? Вызванный ученик может на доске изобразить вектор напряжённости в какой-либо точке поля положительного или отрицательного заряда.

Затем учитель рассказывает о том, что экспериментальное изучение электрических полей показало: поля друг на друга не влияют. При наложении (суперпозиции) полей напряжённость результирующего поля равна:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Для примера определяют напряжённость результирующего поля, образованного несколькими зарядами (рис. 137, 138).

III. Центральная учебная проблема отработки изученного материала: что даёт нам знание напряжённости поля.

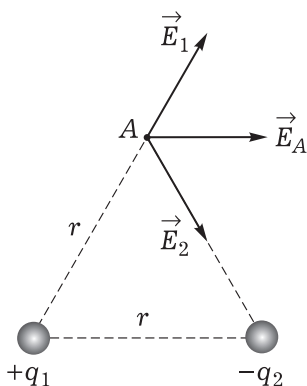


Рис. 137

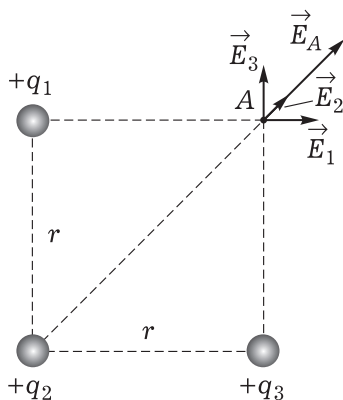


Рис. 138

Как только главное в содержании материала изложено и логика рассуждений выделена, надо сразу же переходить к решению задач. Усвоение знаний идёт через их применение.

1. С какой силой действует электрическое поле Земли на тело, имеющее заряд 10^{-6} Кл? Напряжённость поля равна 100 Н/Кл. Нужно ли моделировать заряженное тело точечным зарядом?
2. На каком расстоянии от заряда, равного 10^{-8} Кл, напряжённость поля равна 225 Н/Кл?
3. Определите напряжённость поля ядра атома водорода на расстоянии $5 \cdot 10^{-11}$ м. Заряд ядра $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Решение задач может быть организовано сразу в виде самостоятельной работы: две-три, а с учётом домашнего задания четыре или пять задач. У доски двое учащихся решают те же или другие задачи. По задачку отдельным школьникам предлагаются задачи индивидуально. Разбор задач может быть выполнен устно у доски.

IV. Подведение итогов осуществляется по *вопросам*: с каким новым физическим объектом мы познакомились сегодня на уроке? Какова основная характеристика электрического поля? Какую роль выполняет электрическое поле при взаимодействии зарядов? В чём состоит принцип суперпозиции полей? В чём его значение? Как вычисляется напряжённость поля точечного заряда? Как эта формула получается?

Домашнее задание: § 93*—95; П., № 463.

Урок 5. Решение задач. Линии напряжённости

Задачи урока: ввести понятие линий напряжённости как средства описания электрического поля; сформировать умения характеризовать электрические поля напряжённостью и силовыми линиями, описывать взаимодействие зарядов физическими величинами и законами; развивать умение работать с учебником (выделять главное, анализировать рисунки и последовательность действий при решении задач).

I. Характер повторения (около 10 мин) должен быть по возможности разнообразнее. Один ученик воспроизводит решение домашней задачи на доске, а двое или трое письменно решают задачи на листочках (желательно на первых партах), остальные фронтально работают с учебником. Учитель предлагает найти в учебнике пример взаимодействия тел посредством среды, а затем задаёт *вопросы*: какие примеры такого же взаимодействия можно привести из жизни? Какая теория — дальнего действия или ближнего действия — точнее описывает взаимодействие тел? В какой из них более полное выражение находит идея материальной связи явлений и объектов? Какие факты приводятся в учебнике в пользу существования электрического поля? (Можно записать в тетради.) Предлагается сравнить рисунки 14.11—14.13 учебника и сделать выводы о свойствах электрического поля.

II. Учитель на доске, а ученики в тетрадях записывают тему урока. Затем учитель организует работу с учебником. На доске

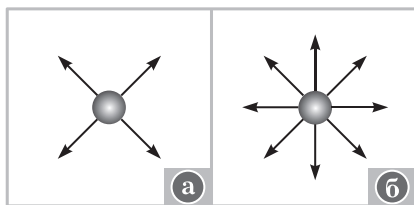


Рис. 139

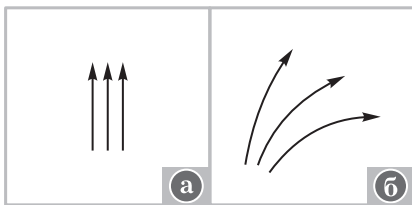


Рис. 140

или на листочках записаны вопросы, они могут быть даны по вариантам. В конце урока тетради выборочно проверяют. Примеры *вопросов* и *заданий*: что показывают силовые линии? Для чего они используются? Каким средством — напряжённостью или силовыми линиями — можно точнее описать электрическое поле? Изобразите пять различных электрических полей. Сравните изображённые на рисунках 139—141 электрические поля.

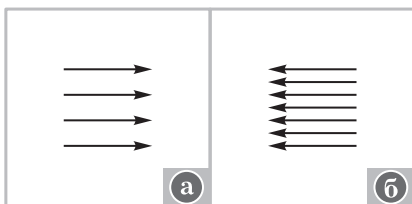


Рис. 141

Далее учитель демонстрирует картину силовых линий с помощью султанов, заряженных от электрофорной машины или от прибора «Разряд-1». Организует беседу по следующим *вопросам*: как можно охарактеризовать электрическое поле точечного заряда? (Ответ. Неоднородное, напряжённость убывает с расстоянием.) Изменится ли электрическое поле, если внести в него заряженное тело, например заряженный шарик или другой султан? Почему? (Ответ. Изменится, так как поля складываются.) В какой области поле двух разноимённых зарядов больше? (Ответ. Между зарядами.)

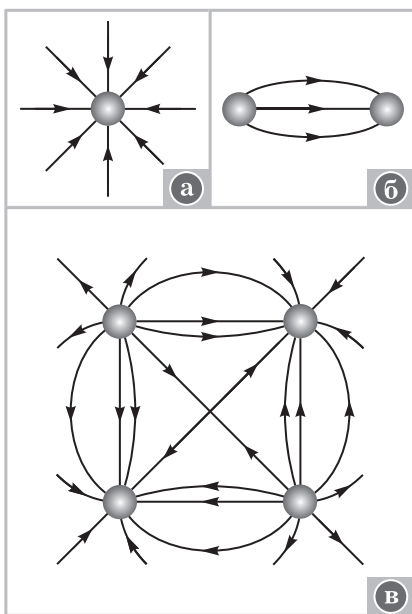


Рис. 142

III. Решение задач можно проводить с правом их выбора учащимися из некоторой совокупности или из задачника. Ряд задач может быть подготовлен на доске.

1. Определите знаки зарядов, показанных на рисунке (рис. 142).

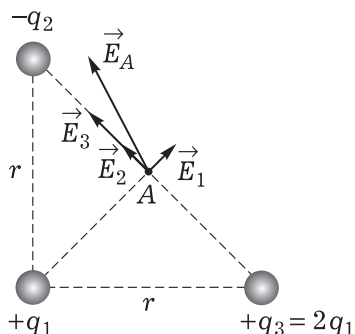


Рис. 143

- Определите направление вектора напряжённости в точке A (рис. 143).
- Напряжённость поля в некоторой точке равна $4 \cdot 10^4$ Н/Кл. Определите модуль пробного заряда, если в данной точке на него действует сила, равная $1,8 \cdot 10^{-3}$ Н.
- Два точечных заряда, равные $2 \cdot 10^{-7}$ и $1,6 \cdot 10^{-7}$ Кл, находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Определите напряжённость поля в точке, удалённой от одного заряда на 3 см, а от другого на 4 см.

При решении задач по вариантам можно предусмотреть взаимопроверку.

IV. Домашнее задание: § 95—97*; упр. на с. 316 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 466.

Урок 6*. Дискретность электрического заряда. Решение задач

Задачи урока: ознакомить с понятиями «дискретность электрического заряда» и «наименьший электрический заряд» и методом измерения элементарного заряда; сформировать умение применять изученные законы в изменённой ситуации.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	15—20	Рассказ учителя. Демонстрация опытов
II. Коллективное решение задач	10	Решение задач у доски. Беседа. Работа в тетради
III. Самостоятельная работа по карточкам	15	Использование учебника. Работа в тетради
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Учитель сообщает план работы на данном уроке. Учащиеся в тетрадях записывают тему урока. Далее на доске и в тетрадях записывают в виде вопроса *учебную проблему*: можно ли заряд делить и существует ли наименьший заряд.

Первую часть проблемы решают с помощью эксперимента, для чего берут два электрометра (их устройство кратко повторяется в беседе), пластинку из оргстекла, кусок газеты, металлический стержень на изолирующей ручке. Учитель даёт указания по выполнению опыта и ставит вопросы. Опыт выполняет ученик: за-

ряжает один электрометр и соединяет его с другим. *Вопросы:* как изменился заряд первого электрометра? Можно ли оставшийся на первом электрометре заряд ещё уменьшить вдвое? Можно ли делить заряд до бесконечности? На последний вопрос даёт ответ эксперимент, идею которого рассказывает учитель. Идея эксперимента следующая: в однородное электрическое поле с известной напряжённостью помещали заряженные капли масла (рис. 144).

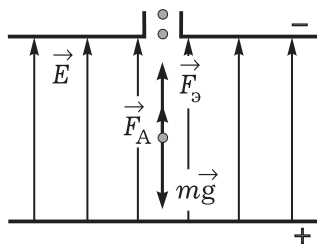


Рис. 144

На каждую каплю действовали сила тяжести, сила, выталкивающая каплю из воздуха, и кулоновская сила. В зависимости от соотношения сил капля могла покоиться или ускоренно двигаться. В любом случае на основе изучения движения капли можно определить силу электростатического взаимодействия, а затем по известной напряжённости и значению кулоновской силы — заряд капли. Было проведено множество опытов с разными каплями и их зарядами. Во всех случаях оказалось, что заряд капли является кратным некоторому наименьшему, равному $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, т. е. равному заряду электрона.

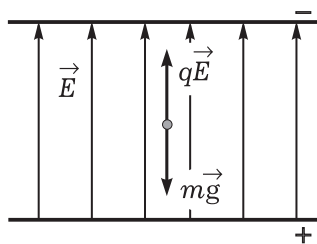


Рис. 145

Схема опыта выполняется в тетради. Учитель предупреждает, что на следующем уроке отвечать можно будет, пользуясь записями в тетради.

Для усиления воспитательного значения при изучении фундаментального опыта необходимо использовать хрестоматийный материал. В частности, следует обратить внимание учеников на трудности этого эксперимента. Так, Милликен, проводя свои опыты, наблюдал движение капель в микроскоп в течение пяти-шести часов. Опыты проводились несколько лет: с 1906 по 1914 г.

Кроме того, учитель может сообщить, что экспериментально было доказано равенство значений элементарных (отрицательного и положительного) зарядов, независимость значения элементарного заряда от скорости. Следует рассказ о носителях элементарных зарядов.

II. Для закрепления знаний о методе определения значения элементарного заряда приступают к решению задачи.

В однородном электрическом поле напряжённостью $5 \cdot 10^3$ Н/Кл висит пылинка массой 10^{-11} кг. Определите её заряд.

Приведём краткое решение задачи.

Рассматривается поведение точечного заряда, например пылинки, в однородном электрическом поле. На пылинку действуют Земля и поле. Архимедовой силой пренебрегаем из-за её малости. Так как пылинка неподвижна, соответствующие силы скомпенсированы (рис. 145).

Условие покоя пылинки (наблюдаемое явление) описывается следующим образом:

$$|\vec{F}_k| = |m\vec{g}|.$$

Решение уравнения позволяет найти заряд пылинки:

$$\left. \begin{array}{l} F_k = mg \\ F_k = qE \end{array} \right\} \Rightarrow qE = mg, q = \frac{mg}{E};$$

$$q = \frac{10^{-11} \cdot 10}{5 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-14} \text{ (Кл)}.$$

Выводы. В опытах Иоффе—Милликена заряд металлической пылинки менялся и для равновесия изменяли напряжённость поля. Расчёты показали, что во всех случаях заряд менялся кратно некоторому элементарному заряду.

III. Самостоятельная работа.

Вариант 1

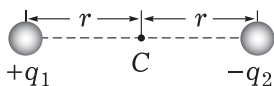


Рис. 146

1. В поле положительного точечного заряда q_1 внесли отрицательный заряд q_2 . Как при этом изменилась напряжённость поля в точке С (рис. 146)? Ответ обоснуйте.
2. Определите расстояние, на котором заряд, равный $4 \cdot 10^{-7}$ Кл, создаёт поле напряжённостью $1 \cdot 10^6$ Н/Кл.

Вариант 2

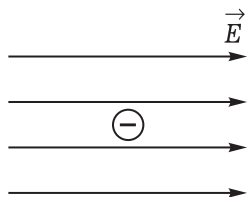


Рис. 147

1. На рисунке (рис. 147) изображены электрическое поле и отрицательно заряженная частица. В каком направлении будет действовать на частицу сила? Каким будет движение заряженной частицы в этом поле?
2. Определите ускорение, с которым движется электрон в поле напряжённостью $1 \cdot 10^3$ Н/Кл. Масса электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, а заряд равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

IV. Домашнее задание: повторить § 90; упр. на с. 308 (4); индивидуально – П., № 468.

Урок 7*. Проводники в электрическом поле

Задачи урока: сформировать понятия «свободный заряд», «электростатическое поле внутри проводника»; изучить практическое применение электростатической защиты; развивать умения наблюдать и анализировать физические явления; создавать познавательную мотивацию при постановке экспериментальных задач.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Контроль знаний школьников	5—7	Беседа
II. Изучение нового материала	20—25	Беседа. Рассказ. Решение экспериментальных задач. Работа с учебником. Записи в тетради
III. Решение задач	10	Самостоятельная работа
IV. Подведение итогов урока. Домашнее задание	2—3	Сообщение учителя

I. К доске вызывают ученика. Ему на карточке предлагают задание: рассказать об устройстве и принципе работы электрометра (как электроскопа). Пока ученик готовится, класс фронтально отвечает на *вопросы*: чем отличается наэлектризованное тело от ненаэлектризованного с точки зрения его внутреннего строения? Можно ли разрядить заряженную эбонитовую палочку, дотронувшись до неё пальцем? Можно ли разрядить заряженную металлическую палочку, дотронувшись до неё рукой? Можно ли на основе опытов сделать вывод: могут или не могут перемещаться заряды по телу? Что позволяют узнать об электрическом поле силовые линии?

II. Изучение нового материала начинают с того, что кратко рассматривают (повторяют) строение металла на основе электронной теории. Сначала констатируют наличие ионов и электронов, а затем подчёркивают, что некоторые электроны являются свободными зарядами и могут перемещаться по проводнику.

Далее переходят к решению *учебной проблемы*: как ведёт себя проводник в электростатическом поле. Рекомендуем поставить опыт (рис. 148).

В однородное электрическое поле (между пластинами разборного конденсатора), созданное прибором «Разряд-1» или электрофорной машиной, вносят две соединённые и незаряженные металлические пластинки. Эти пластинки укреплены на изолирующих ручках. Тот факт, что они не заряжены, проверяют электрометром. В электрическом поле пластинки разъединяют и определяют наличие зарядов на них. *Вопросы*: откуда и почему появились на пластинках заряды? Одинакового ли они знака? Будут ли пластинки заряжены, если их разъединить после вынесения из поля? Почему? Какой можно сделать **вывод** на основании опыта? (Ответ. В элек-

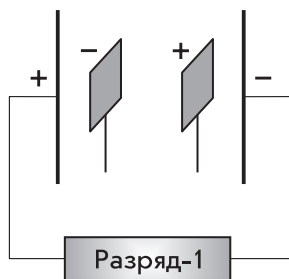


Рис. 148

тростатическом поле внутри проводника происходит перераспределение зарядов.)

В тетрадах ученики выполняют рисунок 148. Учитель обращает внимание класса на то, что явление разделения зарядов проводника в электростатическом поле называется **электростатической индукцией**. Это явление лежит в основе электризации тел через влияние. (Один из учеников показывает опыт по электризации электрометра через влияние.)

Для закрепления изученного материала решают задачу.

Будет ли незаряженная станиолевая гильза взаимодействовать с заряженной палочкой? Почему?

Один из учеников ставит и объясняет опыт.

Далее учитель сообщает, что явление электростатической индукции играет существенную роль при возникновении молнии. Сильно заряженная туча вследствие индукции может навести противоположный заряд, например, на дерево. В результате мы наблюдаем разряд — молнию. Аналогичное явление можно продемонстрировать, используя электрометр и сильно заряженную палочку: если поднести палочку достаточно близко к стержню электрометра, то возможен пробой (будет слышен треск); значит, электрометр зарядился. Обсуждают *вопрос*: почему зарядился электрометр, ведь до него не дотрагивались? Затем переходят к решению экспериментальных задач.

1. Корпус электрометра зарядили (сильно) (рис. 149). Почему отклоняется стрелка? (О т в е т. Часть стержня находится в поле корпуса, происходит перераспределение зарядов на стержне.)
2. Корпус электрометра зарядили (не сильно) (рис. 150, а). Почему стрелка электрометра не отклоняется? (О т в е т. Из-за недостаточной чувствительности электрометра; перераспределение зарядов на стержне происходит.) Почему стрелка заметно отклоняется, если коснуться стержня рукой (рис. 150, б)?

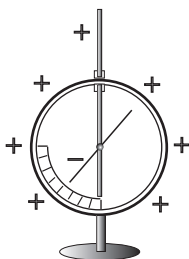


Рис. 149

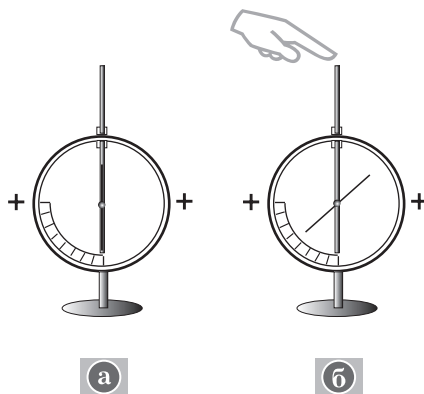


Рис. 150

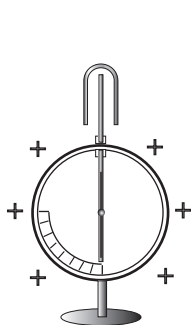


Рис. 151

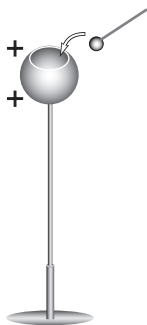


Рис. 152

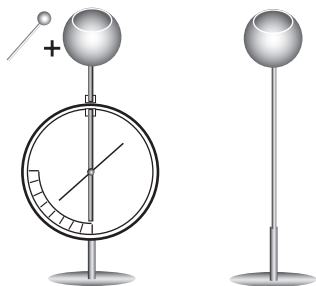


Рис. 153

3. Корпус электрометра зарядили (сильно). Конiec стержня предварительно закрыли металлическим кондуктором (рис. 151). Почему стрелка электрометра не отклоняется?

Для закрепления материала может быть поставлен *опыт* с сеткой Кольбе. Заряженная сетка сворачивается в цилиндр. *Вопрос*: почему листочки внутри опадают, а снаружи отклоняются сильнее? Данный опыт позволяет сделать вывод о наличии электрического заряда лишь на поверхности проводника. Решают дополнительно экспериментальные задачи. Они могут быть даны для индивидуального решения на карточках. (Работу следует оценить.)

4. Полый металлический кондуктор заряжен (рис. 152). Зарядится ли металлический шарик, если им коснуться кондуктора внутри? Теоретическое решение проверить опытом.
5. Как, используя металлический шарик на изолирующей ручке и заряженный электрометр с кондуктором, зарядить полый металлический кондуктор на изолирующей демонстрационной подставке до большего заряда (рис. 153)?

III. На следующем этапе урока решают задачи.

1. Определите напряжённость поля заряженного металлического шара на расстояниях 2 и 4 см от центра шара, если радиус шара равен 3 см, заряд равен 10^{-8} Кл.
2. Определите заряд Земли, если средняя напряжённость электрического поля у её поверхности равна 100 Н/Кл. Радиус земного шара можно принять равным 6400 км.
3. Определите напряжённость поля, образованного заряженной пластинкой размером 5×4 м. Заряд на пластинке равен $5 \cdot 10^{-5}$ Кл.

IV. Домашнее задание: § 98*; П., № 471; индивидуально — № 477.

Урок 8*. Диэлектрики в электрическом поле

Задачи урока: выяснить природу диэлектриков на основе электронной теории; сформировать умение объяснять явления с помощью понятия «поляризация диэлектриков»; выделить при-

чинно-следственные связи при объяснении опытов; раскрыть практическое значение диэлектриков в народном хозяйстве.

I. После краткой (3—4 мин) проверки домашнего задания начинают изучение нового материала.

II. Методика изучения нового материала состоит в организации работы с учебником, решении экспериментальных задач для создания мотивации и постановки учебных проблем, выполнении записей и рисунков в тетради. Покажем примерную последовательность действий.

1. Какие тела называют диэлектриками — первая учебная проблема урока.

Учитель сообщает, что существует два вида тел: проводники и диэлектрики. Затем идёт обсуждение примеров диэлектриков. Например, газы: воздух, неон, гелий; жидкости: дистиллированная вода, органические растворители (бензин, керосин), масла (касторовое, льняное); твёрдые тела: фарфор, смола, пластмассы, керамические материалы, сухое дерево.

Проводники и диэлектрики обладают разными электрическими свойствами. Для доказательства достаточно решить экспериментальную задачу.

Почему одна заряженная палочка заряжает электрометр, а другая нет? Оборудование: металлическая палочка на изоляторе, эбонитовая палочка, два электрометра. Палочками нужно только коснуться кондуктора или стержня электрометра.

Вывод. Свободных зарядов на эбонитовой палочке нет.

Для понимания поведения диэлектриков надо знать особенности их внутреннего строения. Организуется работа с учебником: выполнение в тетради рисунков 14.23—14.25 учебника и их объяснение. Это важная часть работы. Отдельные свои действия школьники комментируют с места.

Учитель подчёркивает, что электрический диполь — это модель нейтральной системы зарядов.

2. Как ведёт себя диэлектрик в электрическом поле — вторая учебная проблема урока.

Вопрос: почему изменяются показания заряженного электрометра с диском (рис. 154, а), если к диску поднести (рис. 154, б), а затем положить на него толстую пластинку из оргстекла? (Ответ. В поле диска пластинка поляризуется; её поле уменьшает поле диска. Если пластинку положить на диск, то часть зарядов со стержня электрометра, притягиваясь, переходит на диск.) Следует рассказ о поляризации, организуется работа с рисунками 14.26—14.28 учебника.

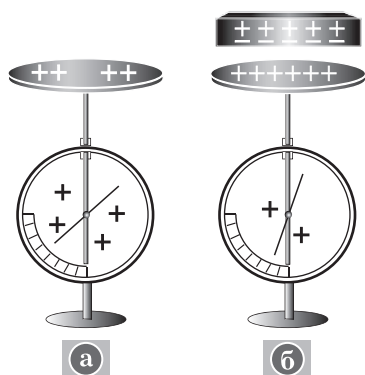


Рис. 154

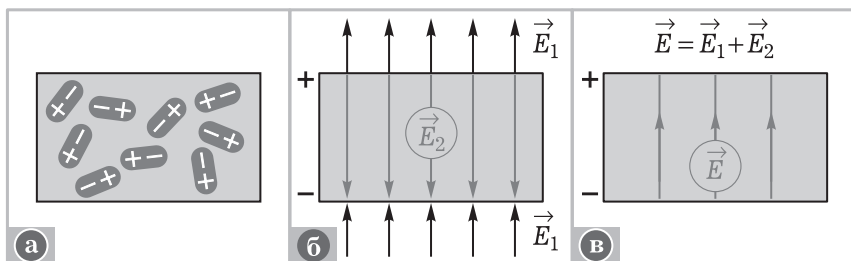


Рис. 155

3. Третья учебная проблема урока: каково электрическое поле внутри диэлектрика. Её решение организуется с помощью рисунка 155. *Вопросы для обсуждения:* существует ли электрическое поле внутри диэлектрика при отсутствии внешнего поля (рис. 155, а)? при наличии внешнего поля (рис. 155, б, в)? Почему возникает электрическое поле в диэлектрике, помещённом во внешнее электрическое поле, если движения зарядов в диэлектрике нет? (Ответ. Собственное поле диэлектрика обусловлено появлением связанного заряда на поверхности.) Как направлено результирующее электрическое поле в диэлектрике? Больше или меньше его напряжённость по сравнению с напряжённостью внешнего электрического поля?

Для характеристики поля в диэлектрике вводят новую физическую величину: $\epsilon = \frac{E_0}{E}$ — **диэлектрическая проницаемость среды**. Она зависит от свойств диэлектрика, следовательно, характеризует диэлектрик (табл. 32).

Таблица 32

Вещество	Диэлектрическая проницаемость
Стекло	5—10
Слюда	4—8
Вода	81
Воздух	1
Оргстекло	3—4

Вопрос для обсуждения: как и почему изменятся показания электрометра, соединённого с заряженным конденсатором, если между его пластинами поместить лист плексигласа? (Ответ. Напряжённость поля в пространстве между пластинами уменьшится, следовательно, уменьшится напряжение при неизменном заряде, так как напряжённость равна $E = \frac{U}{d}$.) Это можно продемонстрировать на опыте.

При наличии времени обсуждают *вопросы*: изменятся ли показания электрометра, если между пластинами конденсатора поместить другой лист оргстекла? Почему уменьшатся показания электрометра при замене листа оргстекла на лист текстолита?

III. Выделение главного и отработку знаний организуют при коллективном обсуждении вопросов и решении задач. Примеры вопросов: чем отличаются полярные диэлектрики от неполярных?

Что происходит с диэлектриком в электрическом поле? Создают ли связанные поверхностные заряды электрическое поле в самом диэлектрике? Как оно направлено по сравнению с внешним полем? Существует ли электрическое поле внутри проводника, внесённого в электрическое поле? Чем отличаются диэлектрики от проводников?

Чем различаются процессы, происходящие в проводниках и диэлектриках, помещённых в электрическое поле? В чём наблюдается различие: проводник и диэлектрик помещены в электрическое поле и разрезаны пополам? вынесены из поля? Можно выполнить рисунок 156.

Примеры задач: П., № 480, 481. Систематизация знаний может быть организована с помощью таблицы 33.

IV. Домашнее задание: § 98*; упр. на с. 326 (ЕГЭ).

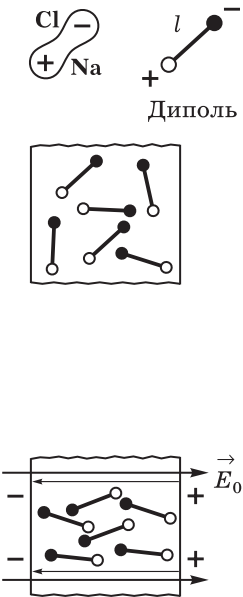
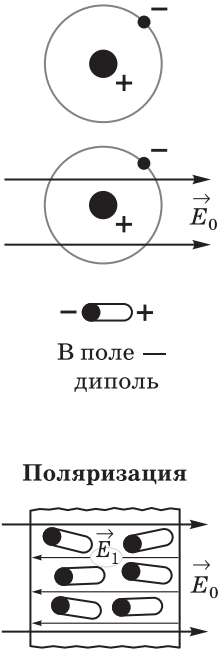
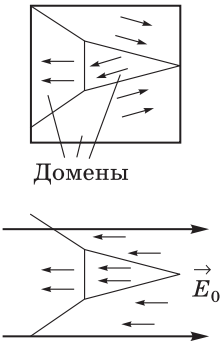
Урок 9. Энергетические характеристики электрического поля

Задачи урока: ввести понятия «потенциал», «разность потенциалов», «потенциальное поле»; получить формулы для вычисления работы электрического поля; формировать умения выделять и характеризовать физические явления.

План работы

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Сообщение плана работы на уроке	2	Сообщение учителя
II. Изучение нового материала	35—40	Решение задач. Беседа. Записи в тетради. Ответы на вопросы. Демонстрация опытов
III. Подведение итогов урока. Домашнее задание	2—4	Выделение главного в изученном материале. Сообщение учителя

Диэлектрики в электрическом поле

Полярные	Неполярные	Сегнетоэлектрики
 <p>Диполь</p> <p>Поверхность заряжается</p> <p>Поле внутри: $E = E_0 - E_1$</p> <p>Характеристика: $\varepsilon = \frac{E}{E_0}$</p>	 <p>В поле — диполь</p> <p>Поляризация</p> <p>Примеры: газы — водород, азот</p>	 <p>Домены</p> <ul style="list-style-type: none"> • При снятии поля поляризация частично сохраняется • $\varepsilon \sim 10^4$ • При температуре Кюри — переходит в полярный

II. На данном и последующих уроках изучают энергетические характеристики электрического поля. Основные *вопросы* этих уроков: обладает ли электрическое поле энергией? В чём это выражается? Как рассчитать энергию поля?

Решают несколько *задач*.

1. Докажите, что электрическое поле совершает работу.

При разборе показывают и обсуждают *опыт*: отклонение стальной гильзы при поднесении заряженной палочки. (Ответ.

Есть сила, есть перемещение вдоль линии действия силы, значит, есть и работа поля.)

2. Определите работу электрического поля при перемещении заряда из точки A в точку B по контуру (рис. 157).

Решение. Из курса механики известна формула определения работы постоянной силы: $A = Fs \cos \alpha$. Здесь поле однородно, сила постоянна, перемещение известно, следовательно, работа $A = F_3(x_2 - x_1)$.

Задача решается на доске учеником, класс работает самостоятельно. Учитель управляет работой с помощью вопросов, подсказок и т. д.

3. Определите работу электрического поля при перемещении заряда из точки A в точку C через точку D ; из точки A в точку C через точку B ; из точки A в точку A двумя способами (см. рис. 157).

К этой задаче на рисунке следует обозначить направление действия силы и направление перемещения. Работа будет равна $A = Eq(x_2 - x_1)$, но она не будет зависеть от формы траектории. Это можно обосновать тем, что движение из точки A по любой траектории складывается из двух движений: по направлению

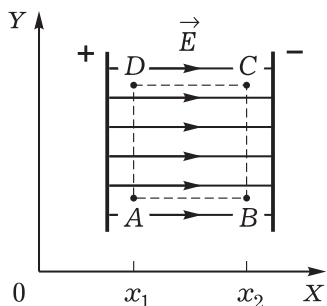


Рис. 157

поля и перпендикулярно ему. В последнем случае работа равна нулю. Таким образом, электрические поля, работа которых не зависит от формы траектории, а на замкнутой траектории равна нулю, называют **потенциальными**.

Далее вводят понятия «потенциальная энергия» и «потенциал». Для этого коллективно составляют конспект изучаемого материала по учебнику. Учитель руководит записями в тетради. Приведём примерный вид конспекта.

1. Работа при перемещении заряда в потенциальном поле равна $A = -\Delta W_{\text{п}}$. Тогда формулу для потенциальной энергии в однородном электрическом поле можно записать так:

$$W_{\text{п}} = qEx$$

(можно провести аналогию с формулой $W_{\text{п}} = mgh$).

2. Заряд в поле обладает энергией. (*Опыт.* Гильза отклоняется в поле от положения равновесия, т. е. приобретает способность совершать работу.) Отношение $\frac{W_{\text{п}}}{q} = \varphi$ характеризует данную точку поля, так как зависит только от напряжённости поля и координаты точки. Определение потенциала.

3. Как выразить работу поля через разность потенциалов?

$$A = -\Delta W_{\text{п}} = -(W_{\text{п}2} - W_{\text{п}1}) = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = -q\Delta\varphi.$$

4. Определение: $-\Delta\varphi = U$ — **напряжение**. Тогда $U = \frac{A}{q}$.

Напоминание об измерении разности потенциалов на уроке определяется задачами закрепления материала, поэтому рассматривается лишь процедура такого измерения.

В беседе учитель сначала рассказывает об устройстве электрометра, затем предлагает разобрать несколько заданий, привлекая к опытам учеников, например: необходимо измерить потенциал заряженного шара относительно Земли; сравнить у двух шаров потенциалы, измеряя их относительно Земли; измерить разность потенциалов двух шаров.

При выполнении опытов класс и учитель обсуждают *вопросы*: что такое потенциал? Как измеряется разность потенциалов? Что понимают под единицей разности потенциалов 1 В?

III. Домашнее задание: § 99, 100; упр. на с. 338 (1, 2).

Урок 10. Связь напряжённости и разности потенциалов. Эквипотенциальная поверхность

Задачи урока: сформировать представления об эквипотенциальной поверхности, работе электрического поля и связи силовой и энергетической характеристик поля; стимулировать познавательную деятельность постановкой учебных проблем, выдвижением гипотез и предположений; развивать умения сравнивать и анализировать.

I. У доски с конспектами ученики рассказывают о работе электрического поля, его энергетической характеристике. Два ученика письменно решают задачи. Приведём примеры.

1. В однородном электрическом поле напряжённостью $6 \cdot 10^5$ Н/Кл перемещается по силовой линии на расстояние 8 см заряд, равный $7 \cdot 10^{-8}$ Кл. Определите работу электрического поля.
2. Вычислите работу, которую нужно совершить, чтобы переместить заряд $5 \cdot 10^{-8}$ Кл между двумя точками электрического поля с разностью потенциалов 1000 В.

При решении задач учащиеся могут воспользоваться учебником.

Фронтальное повторение осуществляется по следующим *вопросам и заданиям*: по каким признакам можно заключить, что электрическое поле материально? Каковы основные характеристики поля? Чему равна работа поля при перемещении заряда из точки В в точку А, если работа поля по перемещению заряда из точки А в точку В равна $5 \cdot 10^{-2}$ Дж? Сравните работу электрического поля при перемещении заряда по каждой линии напряжённости (рис. 158). Сравните работу поля по траекториям ACB и ADB (рис. 159).

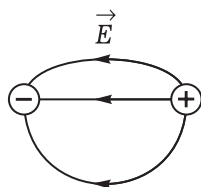


Рис. 158

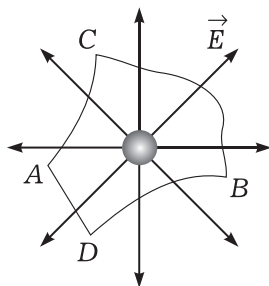


Рис. 159

II. Изучение нового материала (около 20 мин) начинается с фронтального повторения. На доске учащийся изображает однородное электрическое поле между двумя пластинами. Обсуждают *вопросы*: какие две характеристики электрического поля мы изучили? Как они определяются? Почему, кроме напряжённости, электрическое поле характеризуют ещё силовыми линиями? (Ответ. Силовые линии дают общую наглядную картину электрического поля.)

Переходят к введению понятия **экипотенциальная поверхность**. Оказывается, что энергетические свойства поля можно тоже изобразить линиями — линиями равного потенциала. Разбирают *вопрос*: как изобразить линии равного потенциала? В тетрадах воспроизводят рисунок однородного поля. Затем разбирают *вопросы*: будет ли поле совершать работу, если заряд будет перемещаться по экипотенциальной поверхности? (Ответ. Нет, так как работа $A = -q(\varphi_2 - \varphi_1)$.) При какой траектории движения заряда в электрическом поле работа этого поля равна нулю (рис. 160)? Будут ли поверхности, изображённые на рисунке 161, экипотенциальными? Как изобразить экипотенциальную поверхность, если известны силовые линии электрического поля? Потенциал какой из поверхностей (см. рис. 161) меньше? Как это доказать? (Ответ. Если потенциал поля на бесконечности принять равным нулю, то при перемещении положительного заряда из бесконечности до поверхности с потенциалом φ_2 поле совершает меньшую работу, чем до поверхности с потенциалом φ_3 . Поэтому, согласно формуле $A = -q(\varphi - 0)$, потенциал φ_2 больше потенциала φ_3 .)

Далее выясняют *вопрос*: почему в неоднородном электрическом поле (см. рис. 161) экипотенциальные поверхности, различающиеся на потенциал 1 В, располагаются на разных расстояниях друг от друга? Чтобы ответить на этот вопрос, надо установить связь между напряжённостью E и разностью потен-

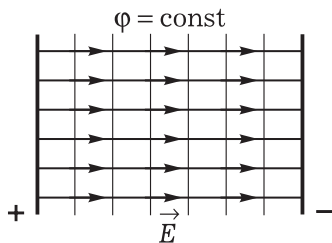


Рис. 160

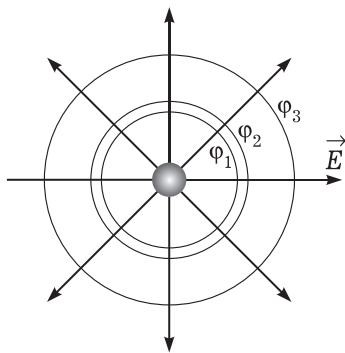


Рис. 161

циалов $\Delta\varphi$ (рис. 162). Любое поле в малой области пространства можно приближённо считать однородным. Вычисляют работу через напряжённость E и разность потенциалов $\Delta\varphi$, сравнивают записанные формулы:

$$A = Fd = qEd, \quad A = -q\Delta\varphi, \quad qEd = -q\Delta\varphi,$$

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{d} = \frac{U}{d} \left(\frac{B}{M} \right).$$

Записи в тетрадах делают после выкладок на доске.

Эквипотенциальные поверхности принято проводить так, чтобы разность потенциалов между соседними эквипотенциальными поверхностями была равна 1 В (единице потенциала). При удалении от заряда напряжённость уменьшается. Тогда при одном и том же напряжении U должно увеличиваться расстояние d . В однородных полях это не наблюдается.

Решают экспериментальную задачу.

Почему не меняются показания электрометра при перемещении шарика по поверхности металлического кондуктора (рис. 163)? Как расположены силовые линии около поверхности кондуктора?

Ответ. Поверхность металла — эквипотенциальная поверхность. Поэтому силовые линии расположены перпендикулярно этой поверхности.

Вопрос: в какой точке (A или B) напряжённость поля больше? потенциал больше (рис. 164, где c и d — эквипотенциальные поверхности)?

III. Цель самостоятельной работы — закрепление введённых понятий, формирование умений. Решают простейшие задачи.

1. Напряжение между точками по силовой линии равно 2 кВ, расстояние между ними 10 см. Чему равна напряжённость поля?
2. Определите работу поля при перемещении заряда $12 \cdot 10^{-6}$ Кл из точки с потенциалом 100 В в точку с потенциалом 300 В.

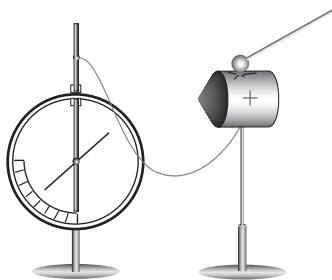


Рис. 163



Рис. 162

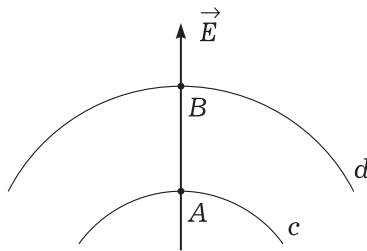


Рис. 164

IV. Домашнее задание: § 101; упр. на с. 338—339 (4; ЕГЭ).
Индивидуальное задание: сконструировать простейший электрометр и экспериментально установить факт наличия заряда у различных тел в вашей комнате.

Урок 11*. Самостоятельная работа. Решение задач

Задачи урока: продолжить формирование умения использовать основные понятия, формулы и физические законы.

I. К этому уроку изучено больше половины теоретического материала темы. Целесообразно обобщить полученные знания и выделить из них самое главное. Это позволит успешнее организовать отработку пройденного материала. Предлагается работа с учебником. *Вопросы:* какие физические объекты изучаются в электростатике? Каковы их основные свойства и средства описания? Каковы типичные явления, изучаемые в теме? С какими их проявлениями в природе и технике встречается человек? В конце работы проводится обсуждение изученного материала по плану.

План

Физические объекты и явления

Заряды — тела и частицы, способные участвовать в электромагнитном взаимодействии

Электрическое поле — вид материи; частный случай проявления электромагнитного поля

Взаимодействие зарядов: притяжение и отталкивание

Действие поля на заряд: равновесие, перемещение зарядов

Средства описания объектов и явлений

Значение электрического заряда. Знак заряда

Напряжённость:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Дискретность электрического заряда

Принцип суперпозиции полей:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Закон Кулона:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

Силовые линии

Закон сохранения заряда:

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$$

Потенциал поля точечного заряда и системы зарядов. Связь E и $\Delta\varphi$:

$$E = - \frac{\Delta\varphi}{d}$$

Расположение зарядов на заряженном проводнике

Поле внутри проводника равно нулю.

Работа электрического поля:

$$A = -q\Delta\varphi = Eqd$$

Проявление электростатических явлений в природе и технике

Электризация трением

Электризация через влияние и молния

Работа электрофорной машины

Клетка Фарадея

II. Работу с задачами советуем начать с устного решения качественных и экспериментальных задач. Качественные задачи желательно дать по рисункам на доске. Экспериментальные задачи школьники решают у доски. Рекомендуем ряд задач, которыми учитель может воспользоваться на уроке.

1. Используя рисунок 165, на котором изображены в определённой последовательности действия, объясните, как изменился заряд металлической пластинки, если: а) пластинка не заряжена; б) поднесли заряженную палочку, но пластинки не коснулись; в) пластинку заземлили; г) заземление и палочку убрали.
2. Можно ли зарядить электрометр с помощью металлической палочки?
3. Одинаковы ли потенциалы точек *A* и *B* электрометра, если к стержню поднесена заряженная палочка (рис. 166)?

Далее решают расчётную задачу по выбору учителя.

III. *Самостоятельная работа* (тренировочная) выполняется по дидактическому материалу или задачнику. В последнем случае школьникам можно дать такое *задание*: на уроке и дома решить четыре задачи на выбор; учитель называет номера из задачника. Для контроля можно взять одну-две тетради на проверку или проверить их в ходе работы. Если решение задач дано по вариантам, то после решения двух задач рекомендуем организовать взаимопроверку.

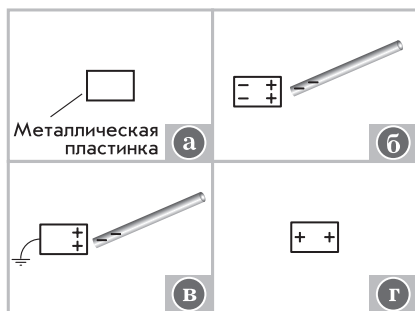


Рис. 165

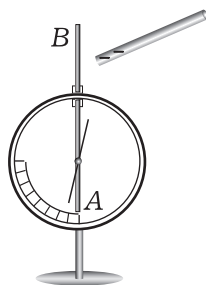


Рис. 166

IV. На уроке желательно оценить не менее десяти работ и сообщить оценки. В заключение целесообразно вновь вернуться к плану.
Домашнее задание: § 102*; П., № 478, 479, 486.

Урок 12*. Самостоятельная работа. Решение задач

Задачи урока: сформировать умение решать задачи на применение знаний в знакомой и изменённой ситуациях.

I. Для повторения изученного материала один из школьников выписывает на доске все известные ему формулы. В это время класс фронтально отвечает на вопросы. Их можно предложить по ранее сделанным записям в тетради или по учебнику. Записанные на доске формулы кратко объясняются.

II. Решение задач.

1. Определите кинетическую энергию, которую получит электрон, преодолев разность потенциалов, равную $1 \cdot 10^6$ В. Заряд электрона равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
2. Заряженная пылинка массой $1 \cdot 10^{-10}$ кг висит в электрическом поле между двумя пластинами. Определите заряд пылинки, если напряжённость поля равна $1 \cdot 10^5$ В/м.

III. Самостоятельная работа.

Вариант 1

1. Объясните опыт, описанный Фарадеем: «Я поместил внутри куба чувствительный электроскоп с золотым листком и сообщил этой системе извне большие заряды. Ни при зарядке, ни при разрядке электроскопа не обнаружил никаких следов присутствия электричества...»
2. Определите напряжённость поля в точке *C* (рис. 167), если каждый из зарядов, находящихся в точках *A* и *B*, равен $2 \cdot 10^{-5}$ Кл, расстояние *AB* равно 30 см, расстояние *AC* равно 10 см.

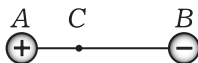


Рис. 167

3. Чему равна разность потенциалов между пластинами, если расстояние между ними 10 см, а напряжённость поля равна 200 В/м?

Вариант 2

1. Опишите свойства изображённых электрических полей (рис. 168, а, б).

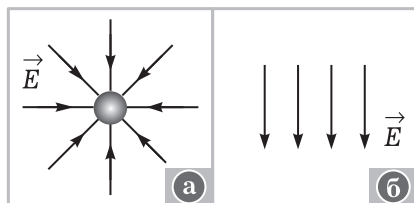


Рис. 168

2. Определите разность потенциалов точек поля, в котором должен пролететь электрон, чтобы его скорость увеличилась от нуля в первой точке поля до $8 \cdot 10^6$ м/с во второй. Заряд электрона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
3. Определите напряжённость электрического поля между облаком и землёй во время грозы, если разность потенциалов равна 10^9 В, а расстояние между облаком и землёй равно 300 м.

IV. Домашнее задание: П., № 489, 491, 493.

Урок 13. Электроёмкость. Конденсатор

Задачи урока: ввести понятия «электрическая ёмкость проводников», «единицы ёмкости»; изучить плоский конденсатор и ознакомить с формулой его электроёмкости; выяснить практическое значение накопителей зарядов — конденсаторов.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Контроль знаний	5—6	Фронтальный опрос
II. Изучение нового материала	25—30	Демонстрация. Беседа. Рассказ. Работа с учебником. Решение задач. Записи в тетради и на доске
III. Отработка изученного материала	10	Устное решение задач. Работа у доски
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Записи в тетради. Сообщение учителя

I. Для повторения организуется фронтальная беседа. Обсуждают следующие *вопросы*: какие физические величины можно измерять с помощью электрометра? В каких единицах они выражаются? Каким способом можно сообщать двум телам одинаковые порции зарядов? (Ответ. С помощью пробного шарика, заряжая его от электрофорной машины.) Какими свойствами обладает электрическое поле между двумя разноимённо заряженными пластинами?

II. В методической литературе описаны два пути определения **электроёмкости**. Первый (традиционный) путь состоит в рассмотрении сначала электрической ёмкости уединённого проводника. При этом школьники хорошо усваивают материал, быстро переходят от абстрактного представления к конкретному. Этот учебный материал в школе достаточно обеспечен экспериментом. Немаловажно и то, что в научной и технической литературе широко используется понятие «электроёмкость уединённо-

го проводника». Так, в физическом энциклопедическом словаре приведено следующее определение: «Электрическая ёмкость — характеристика проводника, количественная мера его способности удерживать электрический заряд».

Второй путь изучения электрической ёмкости представлен в учебнике: электроёмкость рассматривается для системы двух проводников.

Таким образом, изучение нового материала можно начать с постановки эксперимента и организации беседы.

Два электрометра с кондукторами разного диаметра (рис. 169, а, б) заряжаются последовательно пробным шариком от электрофорной машины или от прибора «Разряд-1». После одинакового числа касаний шарика обсуждают результат, отвечая на *вопросы*: одинаковый ли заряд перенесён на электрометр? Что измеряют электрометры? (Ответ. Электрометры заземлены; измеряют потенциал кондуктора относительно земли.) Почему показания электрометров различны? Какому из электрометров надо сообщить больший заряд, чтобы они оба имели одинаковый потенциал? (Ответ. С кондуктором большего диаметра.) Как изменяются показания электрометра при кратном увеличении заряда кондуктора? После обсуждения этих вопросов делают **вывод**: кондуктор большего диаметра накапливает больший заряд при одном и том же потенциале. Свойство тел по-разному накапливать заряды называется **электроёмкостью**. Это свойство описывается физической величиной — электроёмкостью, которая обозначается буквой C и вычисляется по формуле

$$C = \frac{q}{\varphi - \varphi_0} = \frac{q}{\varphi},$$

так как потенциал земли φ_0 принято считать равным нулю.

Далее учитель ставит *учебную проблему*: от чего зависит электроёмкость проводника. Для её решения учитель ставит *опыты* и задаёт *вопросы*: почему изменяются показания электрометра при растяжении гармошки (рис. 170)? Как изменяется электро-

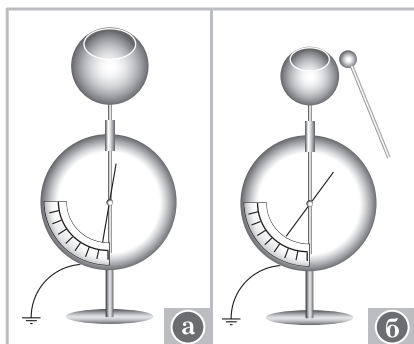


Рис. 169

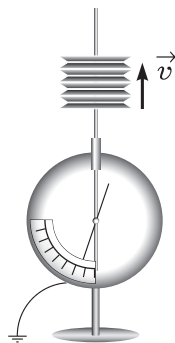


Рис. 170

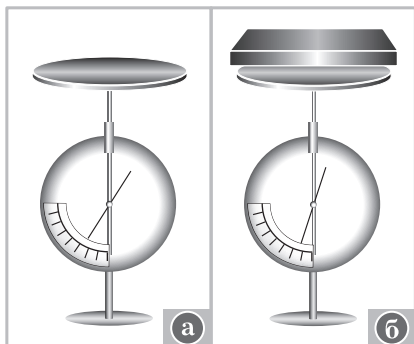


Рис. 171

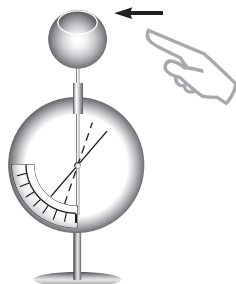


Рис. 172

ёмкость данной системы? (Ответ. Увеличивается.) От чего она зависит? (Ответ. От формы и размеров тела.) Зависит ли электроёмкость от окружающей среды?

Ставят известный *опыт*. На электрометр насажена круглая металлическая пластина (рис. 171, а). К ней приближают лист из органического стекла (рис. 171, б). *Вопрос*: как доказать, что электрическая ёмкость системы изменяется? К постановке опытов учитель привлекает учащихся; в тетрадях они выполняют рисунки, записывают цель опыта.

Далее учитель рассказывает о единицах электрической ёмкости, выполняя соответствующие записи на доске, затем переходит к вопросу о конденсаторе. Этот материал вполне может быть разобран по учебнику.

Изучение конденсатора начинается с *опыта* (рис. 172): к кондуктору приближают руку. *Вопросы для обсуждения*: влияет ли расположение окружающих тел на электроёмкость кондуктора? Как? Зависит ли электрическая ёмкость двух тел от их формы, размеров и взаиморасположения?

Далее учитель говорит, что система из двух проводников, служащая для накопления зарядов, получила название **конденсатор**. Простейший, т. е. плоский, конденсатор состоит из двух одинаковых пластин, расположенных на малом расстоянии. Между пластинами находится воздух (вещество, не проводящее электрические заряды).

К доске приглашают ученика, которому на листочке дают задание: продумать эксперимент по изучению зависимости электроёмкости плоского конденсатора от расстояния между пластинами и от их площади. **Оборудование**: конденсатор, электрометр, эбонитовая палочка. Систему (рис. 173) заряжают эбонитовой

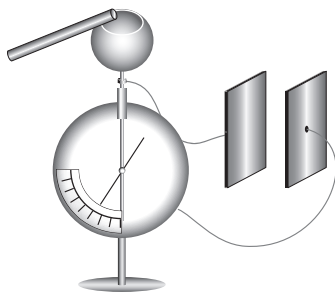


Рис. 173

палочкой. Расстояние между пластинами конденсатора увеличивается или уменьшается, пластины конденсатора смещаются относительно друг друга.

В это время учащиеся заносят в свои тетради обозначение конденсатора, изображение его электрического поля, записывают самостоятельно из учебника формулу электроёмкости плоского конденсатора.

Учитель помогает ученику при постановке опыта, организует беседу по его результатам.

III. К доске вызывают двоих учеников. Первый самостоятельно решает задачу 1. Второй вместе с классом решает задачу 2.

1. Пользуясь выражением для ёмкости $C = \frac{q}{\varphi}$ и формулой для потенциала шара $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$, получите выражение для электроёмкости сферы. Определите электроёмкость земного шара, если его радиус равен $6,4 \cdot 10^6$ м.
2. Чему равна ёмкость конденсатора, если при его зарядке при напряжении 1,4 кВ он получает заряд 28 нКл?

Решение первого ученика проверяют устно. Обращают внимание на то, что электрическая ёмкость земного шара маленькая. Затем переходят к устному решению качественной задачи.

3. Как изменится электроёмкость плоского конденсатора, если уменьшить площадь пластин в 2 раза? увеличить расстояние между пластинами в 2 раза? Можно ли на основе формулы ёмкости плоского конденсатора определить электрическую постоянную? Что для этого нужно измерить? Можно ли измерить только ёмкость?

IV. Домашнее задание: § 103; упр. на с. 348 (1), с. 349 (ЕГЭ, 1); индивидуально — задание: вывести формулу для расчёта электроёмкости плоского воздушного конденсатора, состоящего из n пластин, площадь которых одинакова и равна S , а расстояния между соседними пластинами равны d .

Урок 14. Энергия заряженного конденсатора. Применение конденсаторов

Задачи урока: получить формулу для расчёта энергии плоского конденсатора; сформировать умение решать задачи на расчёт различных характеристик конденсаторов; ознакомить с применением конденсаторов.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение изученного материала. Контроль знаний	7—10	Беседа. Работа у доски. Демонстрация опытов

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
II. Изучение нового материала	25—30	Работа с учебником. Демонстрация. Беседа. Записи в тетради
III. Отработка изученного материала	10	Решение задач. Демонстрация опытов
IV. Домашнее задание	2	Сообщение учителя

I. Урок начинают с повторения уже изученного материала. У доски два ученика решают задачи. Одна задача может быть домашней. Фронтальная работа с классом — решение качественных задач.

1. Сравните электроёмкости конденсаторов, изображённых на рисунке 174.
2. Можно ли, опираясь на формулу $C = \frac{q}{U}$, утверждать, что ёмкость конденсатора зависит от заряда и напряжения?
3. Поясните, как изменяется электроёмкость конденсатора переменной ёмкости при выдвигании пластин. Оборудование: электромметр, провода, демонстрационный конденсатор переменной ёмкости, электрофорная машина или прибор «Разряд-1».

Во время повторения одному из школьников можно предложить самостоятельно решить задачу.

4. Определите ёмкость плоского конденсатора. Оборудование: две металлические пластины, линейка, штангенциркуль.

II. Изучение нового материала учитель начинает с демонстрации наличия у заряженного конденсатора (батареи кон-

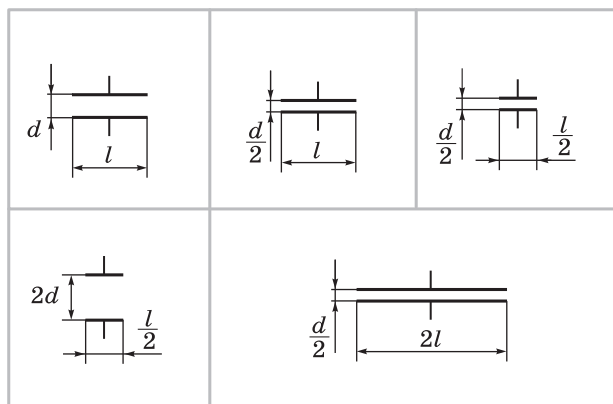


Рис. 174

денсаторов) энергии. Оборудование: батарея конденсаторов, низковольтная лампочка, провода, прибор ВС-4-12. *Вопросы для организации беседы:* в каком случае вспыхивает лампочка? О чём это свидетельствует? Почему загорание лампочки обусловлено наличием энергии конденсатора? Какой энергией обладает конденсатор?

Далее организуют работу с учебником: конспектирование вывода формул энергии конденсатора и плотности энергии электрического поля. Обращают внимание на то, где сосредоточена энергия конденсатора.

В заключение учитель показывает *опыт* по иллюстрации зависимости $W = \frac{CU^2}{2}$ (ДЭ, с. 209).

Учитель кратко рассказывает о видах конденсаторов. Конденсаторы различаются по виду изолятора между пластинами — слюдяные, бумажные, электролитические, воздушные; по виду пластин — металлические, лента из фольги и др.; по размерам — малые и большие; по устройству — открытые и закрытые, переменной ёмкости и постоянной и др. При этом учитель демонстрирует разные конденсаторы. О применении конденсаторов рассказывают, демонстрируя лампу-вспышку, лейденскую банку электрофорной машины, батареи конденсаторов.

Для закрепления введённых понятий класс решает задачу.

Определите значение электрического заряда на конденсаторе, если подаваемое напряжение 100 В.

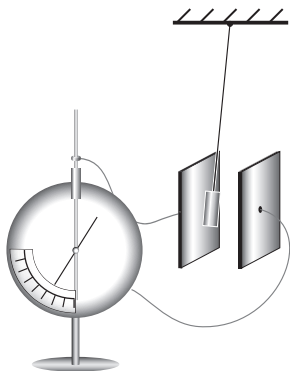


Рис. 175

На ученические столы (лучше каждому школьнику) раздают конденсаторы. По маркировке надо определить ёмкость каждого конденсатора и максимальный заряд, который конденсатор может накопить.

III. Отработка изученного материала направлена на решение задач. При этом особое внимание уделяется формированию познавательного интереса.

Вопросы для обсуждения: как и почему изменяются показания электрометра (рис. 175) при внесении в поле заряженного конденсатора станиоловой гильзы (шарика, покрытого графитом)?

О чём свидетельствует уменьшение показаний электрометра? Изменяется ли поле конденсатора? Совершается ли работа по перемещению шарика? Что совершает работу? Приводит ли совершение работы к уменьшению энергии электрического поля? Как это доказать?

Примечание. Для успешного проведения опыта конденсатор заряжают от электрофорной машины, затем его пластины сближают до начала колебаний гильзы.

Конденсаторы

Электроёмкость

- Свойство тел накапливать заряды
- Физическая величина, характеризующая способность тел накапливать заряды:
- Единица измерения:

$$C = \frac{q}{U}$$

$$1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$$

Виды конденсаторов

- Постоянной и переменной ёмкости
- По виду изолятора: бумажные, слюдяные, воздушные, электролитические, керамические
- Для постоянного и переменного тока
- Плоский, цилиндрический и др.
- Батареи конденсаторов

Характеристики

- Электроёмкость для плоского конденсатора:
- Напряжение рабочее
- Размеры
- Энергия:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

$$W = \frac{q^2}{2C}$$

Применение

- Лампа-вспышка
- Радиоустройства
- Пускатели двигателей, газоразрядных трубок

У какого из однородных полей плотность энергии больше (см. рис. 141)? Изменится ли энергия заряженного конденсатора, если расстояние между пластинами уменьшить в 2 раза?

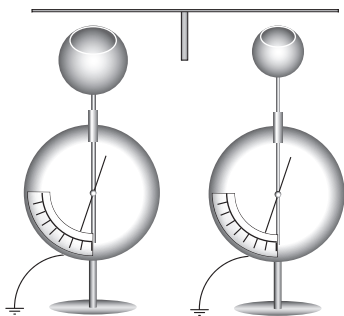


Рис. 176

Можно решить следующие задачи (их выбор за учителем).

1. Определите энергию, которую запасает конденсатор. (Школьникам раздают конденсаторы.)
2. Какая энергия выделится в лампочке, если на неё замкнуть заряженный конденсатор с параметрами: $C = 10 \text{ мкФ}$, $U = 220 \text{ В}$?
3. На конденсаторе написано: 100 пФ , 300 В . Можно ли использовать данный конденсатор для накопления заряда 60 нКл ?

Вопросы для организации беседы: у какого шара ёмкость больше (рис. 176)? У какого шара больше потенциал? Изменяются ли показания электрометров, если их соединить металлическим стержнем? (Примечание: до начала опыта показания электрометров должны быть одинаковыми.) Одинаковы ли будут потенциалы шаров после их соединения? Куда будут переходить заряды?

Выделение главного организуется с помощью таблицы 34.

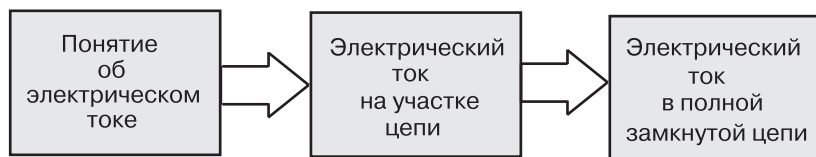
IV. Домашнее задание: § 104, 105*; упр. на с. 348 (3); П., № 508.

Урок 15*. Решение задач (резерв учителя)

Урок 16. Контрольная работа

ГЛАВА XIII. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В связи с тем что изучение магнитного поля тока переходит в 11 класс, данная тема в определённой степени утрачивает своё самостоятельное значение. Логика содержания темы представлена в виде схемы.



Последовательность расположения материала при рассмотрении каждого вопроса подчиняется логике: физическое явление — его описание (физическими величинами и законами). Первые два вопроса повторяют, отчасти углубляют материал базового курса физики. В зависимости от подготовки класса некоторые из этих

вопросов могут быть изучены более подробно. Поэтому на изучение темы можно планировать от четырёх и более часов времени. Овладению экспериментальным методом познания физических явлений следует уделить приоритетное внимание среди других задач.

Урок 1. Физическое явление «постоянный электрический ток». Закон Ома для участка цепи

Задачи урока: определить явление «постоянный электрический ток» и раскрыть его микромеханизм; повторить характеристики тока на участке цепи и изучить закон Ома; сформировать умение описывать электрический ток на участке цепи.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка основной учебной проблемы урока	2—3	Введение учителя
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5—7	Выделение главного. Сообщение учителя

I. Актуализация знаний перед постановкой учебной проблемы урока обеспечивается повторением с помощью *вопросов*: что такое электрический заряд? Чем различаются заряды в проводнике и диэлектрике? Какие вещества хорошо передают заряды от одного тела к другому? Что является источником электрического поля? Как поле действует на заряды?

Направленное движение электрических зарядов представляет новое физическое явление — **электрический ток**. Основные *учебные проблемы* урока — что необходимо для существования постоянного электрического тока, каковы важнейшие характеристики тока, как выглядит закон Ома для участка цепи.

II. Приведём вариант организации изучения нового материала.

1. Электрический ток возможен только в среде, где есть свободные заряды. При обычных условиях они участвуют в тепловом движении (рис. 15.1, *а* учебника). Под влиянием некоторого действия (оно может быть разным) заряженные частицы могут направленно двигаться. Например, в проводнике происходит направленный дрейф электронов (рис. 15.1, *б* учебника).

2. Какова причина направленного движения заряженных частиц в проводнике? Наиболее типичной причиной является электрическое поле, которое, в свою очередь, тоже создаётся зарядами.

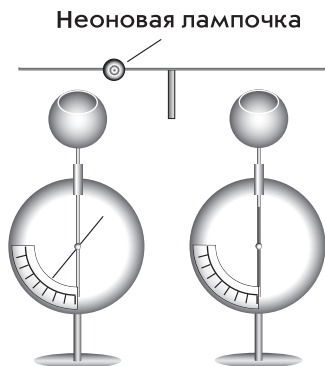


Рис. 177

Проведём опыт (рис. 177). *Вопросы:* о чём говорит зажигание неоновой лампочки? Какова причина движения зарядов? Почему ток быстро прекращается? Не стало электронов проводимости? Исчезло электрическое поле? Как это доказать? Как можно поддерживать существование электрического тока?

Устройство, способное разделять электрические заряды и создавать электрическое поле между его полюсами, называют **источником тока**. В данном случае лучше всего продемонстрировать действие электрофорной машины.

3. Что такое постоянный электрический ток — следующая *учебная проблема*. Для понимания этого явления надо знать, какие заряды и как движутся, каковы внешние проявления электрического тока, каковы характеристики и законы постоянного тока.

По логике учебника определяют силу тока и направление тока, выясняют скорость упорядоченного движения зарядов в типичном случае — в металлическом проводнике. Повторяют и такую характеристику тока, как напряжение. При этом обсуждают *вопросы:* откуда берутся свободные электроны в металле? Как они движутся в отсутствие электрического поля? Как они движутся при наличии электрического поля? Почему при малой скорости движения электронов лампочка при включении загорается почти мгновенно? Что характеризует напряжение? Как образуется электрическое поле внутри проводника?

4. В чём проявляется существование постоянного электрического тока? Упорядоченное движение электронов в проводнике наблюдать непосредственно невозможно. Но о наличии тока в проводнике можно судить по его действиям. **Действия тока** демонстрируют, одновременно заполняя таблицу 35.

Таблица 35

Действие электрического тока	Проявление тока (заполняется коллективно)	Практическое применение тока (заполняется дома)
Тепловое		
Магнитное		
Химическое		

Химическое и магнитное действия тока зависят от его направления (медь выделяется только на отрицательном электроде, а направление поворота рамки зависит от направления тока), тепловое

и химическое действия проявляются не всегда (например, прохождение тока в металлическом проводнике не вызывает химических изменений), а вот магнитное действие проявляется всегда.

5. Почему при постоянном напряжении на участке цепи сила тока зависит от проводника? Выскажите гипотезы, отчего это может происходить. **Сопротивление R** — характеристика проводника, по которому идёт ток. Понятно, что без тока этого свойства проводника нет. Природа сопротивления — действие электрического поля ионов на направленное движение электронов. Далее в беседе повторяют *вопросы*: от чего зависит сопротивление проводника? Как теоретически и экспериментально его определить? Как определяется единица сопротивления?

6. Постановка следующей *учебной проблемы*. Мы определили три физические величины — силу тока, напряжение и сопротивление. Как зависит сила тока от напряжения и сопротивления? Впервые экспериментально эту научную проблему решил в 1827 г. немецкий физик Георг Ом. Повторим логику его рассуждений.

На столе собрана цепь по схеме (рис. 178), с привлечением учеников проводят опыты по выявлению зависимости силы тока от напряжения и сопротивления.

Зависимость силы тока от напряжения получила название **вольт-амперной характеристики** проводника.

Для данного проводника это основная закономерность постоянного электрического тока. На рисунке 179 приведены графики вольт-амперной характеристики для двух проводников в наших опытах. Чем эти проводники различаются?

III. В заключение подводят итоги во фронтальной беседе по *вопросам*: в чём заключается явление «постоянный электрический ток»? Какими физическими величинами оно характеризуется? О чём говорит закон Ома? Какое явление описывает закон Ома? Каковы границы применимости закона Ома?

Домашнее задание: § 106, 107; упр. на с. 353 (ЕГЭ), с. 356 (ЕГЭ); П., № 509, 512.

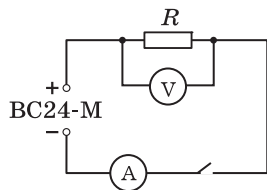


Рис. 178

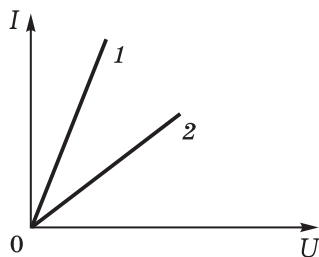


Рис. 179

Урок 2. Электрические цепи и их закономерности

Задачи урока: углубить знания об электрической цепи, о последовательном и параллельном соединении элементов; продолжить формирование умений составлять электрические цепи, выполнять простейшие измерения и рассчитывать значения физических величин.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка основной учебной проблемы урока	2—3	Введение учителя
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Беседа. Постановка опытов. Рассказ. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5—7	Выделение главного. Сообщение учителя

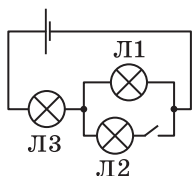


Рис. 180

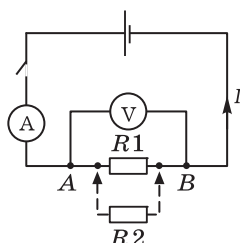


Рис. 181

I. Введение.

II. Что такое полная замкнутая электрическая цепь? Что считают участком электрической цепи? Это первые *вопросы* при изучении нового материала. Источник электрического тока, потребитель тока, соединительные проводники образуют полную **электрическую цепь**. В электрической цепи элементы связаны электрическим полем лишь между собой, и такая физическая система называется замкнутой. Участок с источником тока называется внутренним участком электрической цепи. Электрические цепи весьма распространены в быту. Приводят примеры. На демонстрационном столе собирают простейшую электрическую цепь, на доске приводят её схему (рис. 180). *Вопросы:* почему лампочка *L2* не горит, хотя есть источник тока, проводники и потребитель тока? Каковы условия суще-

ствования постоянного электрического тока? До каких пор будет существовать ток в данной цепи? Почему необходимым элементом электрической цепи является потребитель тока?

Часть электрической цепи называют **участком цепи**. Участок цепи может состоять из одного элемента или из нескольких элементов. По схеме вводят понятия о последовательном и параллельном соединении. *Вопросы:* как соединены лампочки *L2* и *L3*? Как определить сопротивление участка цепи с лампочками *L1*, *L2*, *L3*?

Как определяется сила тока, напряжение и сопротивление участка цепи с последовательным и параллельным соединением? По логике учебника кратко рассматривают соответствующие зависимости.

Отработка изученного материала организуется при решении экспериментальных, качественных и количественных задач.

1. На основе законов параллельного соединения проводников предскажите, как и почему изменятся показания приборов при подсоединении резистора *R2* (рис. 181). (Сначала обсуждают ответ, затем один из школьников проводит эксперимент.)

2. Можно ли включить в электрическую цепь с напряжением 220 В прибор, на котором написано: 30 Ом, 5 А?
3. При измерении оказалось, что сила тока через резистор R_1 (см. рис. 181) равна $I = 0,9 \text{ А} \pm 0,1 \text{ А}$, а напряжение на нём равно $U = 5,6 \text{ В} \pm 0,2 \text{ В}$. Определите сопротивление резистора. Возможно ли определить его точно?

Решают задачи: П., № 516, 519, 523.

Вопросы при решении задач: почему электрический ток не возникает в проводнике без источника тока, например в мотке медной проволоки? Почему источник тока — основной элемент простейшей электрической цепи? Какие источники тока вам известны? Почему необходимы разные источники тока? Какие процессы происходят в источнике тока? За счёт чего происходит разделение зарядов? Как изображаются в схемах элементы электрических цепей?

III. Вопросы для выделения главного: что такое электрический ток? В каких системах он существует? Из чего состоит простейшая электрическая цепь? Что является внешним (внутренним) участком цепи? Какие закономерности электрического тока для участка цепи мы узнали?

Домашнее задание: § 108; П., № 526, 527.

Урок 3. Лабораторная работа «Изучение последовательного и параллельного соединения проводников»

Инструкция учебника достаточно полная. Полезны также следующие советы по организации работы на уроке.

I. Учитель сообщает порядок работы на уроке, обращает внимание на инструкцию, по которой выполняется работа. Фронтально повторяют *вопросы*: как подключить амперметр для измерения силы тока? Как подключить вольтметр для измерения напряжения на участке цепи? Как подключить элементы цепи последовательно? Как два резистора подключить параллельно?

II. Примерное содержание инструкции (выдаётся на парту).

1. Название работы.

2. Оборудование: проволочные резисторы 2 и 4 Ом, реостат на 6 Ом, источник тока 4—6 В, амперметр и вольтметр лабораторные, ключ и провода.

3. Теория: изучаемое явление — постоянный электрический ток на участке цепи, два вида соединений (выполнены рисунки), закономерности этих соединений.

4. **Последовательное соединение проводников:** а) экспериментально докажете, что $U = U_1 + U_2$; б) проведите измерения и с учётом погрешностей прямых измерений рассчитайте общее сопротивление участка, сравните его с названным — 6 Ом, сделайте выводы.

5. **Параллельное соединение проводников:** а) экспериментально и теоретически исследуйте, как и почему изменяются пока-

зания приборов при подключении параллельно к одному проводнику другого; б) экспериментально докажите, что закон Ома выполняется для данного участка цепи.

6. Контрольные задания: изменяется ли сила тока на участке цепи при подсоединении к нему ещё одного сопротивления? Докажите, что общее сопротивление участка цепи из двух параллельно соединённых резисторов «меньше меньшего».

III. Домашнее задание: упр. на с. 361 (1); П., № 524.

Урок 4*. Решение задач

Используется материал § 109*.

Домашнее задание: упр. на с. 359 (ЕГЭ), с. 361 (2).

Урок 5. Работа и мощность постоянного тока

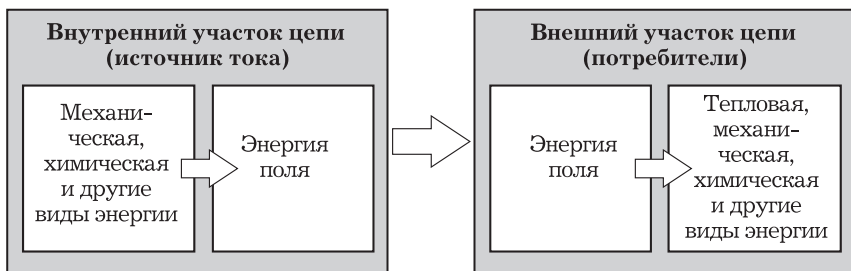
Задачи урока: изучить работу постоянного электрического тока на участке цепи; сформировать умение характеризовать энергетические преобразования на участке цепи.

I. В начале урока разбирают решение домашних задач, фронтально обсуждают *вопросы*: какое сопротивление можно получить в результате соединения трёх резисторов по 2 Ом? (Схемы выполняют на доске.) Почему нагревается проводник при прохождении электрического тока?

II. Изучение нового материала (15 мин) организуют по логике учебника: работа электрического поля тока на участке цепи — нагревание проводника — выделение энергии и расчёт её с помощью закона Джоуля—Ленца — мощность как важнейшая характеристика приборов — КПД приборов. При рассказе учитель использует таблицу 36.

Таблица 36

Преобразование энергии в электрической цепи



$$W_1 = W_2 \text{ — закон сохранения энергии}$$

III. Отработка материала продолжается при самостоятельном решении задач.

Вариант 1

1. Определите работу тока, который проходит через лампочку за время, равное 10 мин, при нормальном режиме работы. Оборудование: лампочка от карманного фонарика.
2. При включении электромотора в сеть напряжением 120 В сила тока, который он потребляет, равна 15 А. Определите потребляемую мощность и КПД мотора, если сопротивление обмотки равно 1 Ом. Подсказка: какая часть энергии идёт на нагревание?

Вариант 2

1. Определите сопротивление лампочки при нормальном режиме работы. Оборудование: лампочка бытового освещения на 100 Вт.
2. Сила тока, потребляемого электродвигателем подъёмного крана при работе под напряжением 380 В, равна 20 А. Чему равен КПД установки, если груз массой 1000 кг кран поднимает на высоту 19 м за время, равное 50 с?

IV. Домашнее задание: упр. на с. 372 (1); П., № 535.

Урок 6*. Решение задач

Для решения рекомендуем использовать задачник (П., № 528, 531, 532) и известный дидактический материал. Дополнительно предлагаем задачи.

1. В электроплитке перегорела спираль. Для замены нашли проводку из такого же материала, но с поперечным сечением в 2 раза меньшим. Что нужно сделать, чтобы сопротивление новой спирали было равно сопротивлению прежней спирали?
2. Определите минимально возможное сопротивление тела человека, если сила тока 0,1 А уже смертельно опасна, а напряжение осветительной сети 220 В. Оцените типичное значение сопротивления тела человека.
3. Опыты с какими проводниками одинакового сечения и в какой последовательности надо поставить (рис. 182), чтобы экспериментально доказать гипотезу о прямой пропорциональной зависимости сопротивления проводника от его длины? (Ответ. С таким набором проводников гипотезу не доказать.)

Домашнее задание: упр. на с. 373 (ЕГЭ); П., № 537.

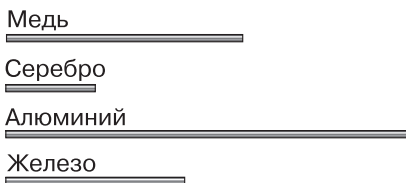


Рис. 182

Урок 7. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи

Задачи урока: продолжить формирование представлений о полной замкнутой электрической цепи и средствах её описания (понятиях и законах); сформировать умение решать задачи на использование закона Ома.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение. Постановка учебной проблемы урока	7—10	Фронтальный опрос. Введение учителя
II. Изучение и обработка нового материала	25—30	Рассказ. Беседа. Постановка опытов. Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5—7	Выделение главного. Сообщение учителя

I. Кратко фронтально обсуждают решение домашних задач. Перед постановкой учебной проблемы урока проводится беседа по *вопросам*: из каких элементов состоит электрическая цепь? Зависит ли сила тока, идущего через резистор, от источника тока? Для чего служит источник тока? Какая физическая величина характеризует электрическое поле? Напряжение на резисторе 10 В — что это значит? Какие источники тока вы знаете?

Мы изучили закономерности постоянного электрического тока на участке цепи — закон Ома и правила соединений резисторов. Сегодня перед нами *учебная проблема*: каковы законы постоянного электрического тока для полной замкнутой цепи.

II. Приведём последовательность изучения нового материала.

1. Роль источника тока — разделение зарядов, поддержание электрического поля в цепи. По рисунку 15.9 учебника обсуждают *вопросы*: какой участок цепи является внешним, а какой — внутренним? Каково условие существования во внешнем участке цепи электрического поля? (О т в е т. Существование зарядов $+q$ и $-q$ на концах цепи.) Но при существовании тока, т. е. при движении электронов, положительный заряд компенсируется. Вы скажите предположение, что должно происходить в источнике тока и за счёт чего.

2. Учитель даёт определение сторонних сил. Отмечает, что работа этих сил поддерживает электрическое поле в цепи, которое, в свою очередь, совершает работу на участках цепи. Описывает разную природу сторонних сил. *Вопросы*: что такое сторонние силы? Какие, например, это процессы?

3. Вводится энергетическая характеристика сторонних сил — электродвижущая сила: $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$. *Вопросы для организации бесе-*

ды: в каких единицах следует измерять ЭДС? Что характеризует ЭДС? В чём различие источников тока с ЭДС 12 и 1,5 В?

4. Далее на основе закона сохранения энергии теоретически получают формулу закона Ома для полной цепи.

Решают задачу.

Как и почему изменяются показания вольтметра при увеличении сопротивления реостата (рис. 183)?

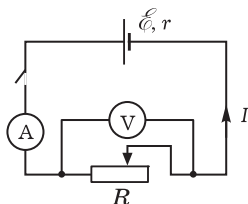


Рис. 183

Решение. Теоретически на основе закона Ома можно предсказать показания вольтметра. На участке цепи при проведении опыта одновременно происходит увеличение сопротивления и уменьшение силы тока. Для ответа на вопрос нельзя использовать закон Ома $U = IR$ для участка цепи.

Из закона Ома для полной цепи $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ видно, что при данном источнике тока, а значит, постоянных \mathcal{E} и r , при увеличении сопротивления R уменьшается сила тока I . Но из закона Ома в другой форме записи $\mathcal{E} = IR + Ir = U_{\text{внеш}} + U_{\text{внут}}$ следует, что при уменьшении $U_{\text{внут}}$ должно увеличиться $U_{\text{внеш}}$. Таким образом, показания вольтметра должны увеличиться.

Проверяют теоретическое предсказание экспериментом.

5. Как определить ЭДС соединённых вместе нескольких источников тока? Для решения задачи организуют работу с учебником (рис. 15.11). Для тренировки предлагают определить ЭДС в цепи из четырёх источников тока. Чему равно сопротивление участка цепи с несколькими источниками тока?

III. Вопросы для подведения итогов урока: можно ли утверждать, что изменение сопротивления одного проводника приводит к перераспределению напряжений между всеми участками цепи? Что при этом всегда сохраняется? Одинаково ли электрическое поле на разных участках электрической цепи? Изменяется ли электрическое поле на участке цепи при изменении его сопротивления? Что характеризует ЭДС? От чего зависит ЭДС источника тока? (Ответ. От устройства источника.)

Домашнее задание: § 111–113*; упр. на с. 372 (2, 3).

Урок 8. Лабораторная работа «Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»

Урок организуется по инструкции учебника (с. 403). Примеры контрольных вопросов: какие научные факты получены в ходе экспериментального исследования? Какие предположения использованы при выборе метода измерения физических величин?

Урок 9*. Решение задач

В начале урока организуется проверка домашнего задания: двое школьников письменно выводят закон Ома для полной цепи, фронтально по вопросам проверяется решение задач, па-

параллельно повторяется теоретический материал. Далее предполагается коллективное и индивидуальное решение типичных задач, в том числе экспериментальных. Приведём примеры задач.

1. Определите сопротивление лампочки, если на её цоколе написано: 26 В; 0,12 А.

2. Напряжение на резисторе увеличили вдвое, а сила тока в нём увеличилась только в полтора раза. Может ли так быть и почему?

Ответ. Если напряжение и сила тока на участке цепи изменяются неодинаково, то это означает, что сопротивление данного резистора изменилось. Может ли такое быть? Да, может, так как сопротивление проводника с ростом температуры увеличивается. Такое явление наблюдается, например, в электрических лампах, в которых при работе спираль нагревается и её сопротивление увеличивается.

3. Выскажите гипотезу, как и почему будет изменяться накал одинаковых лампочек при замыкании ключа (рис. 184). Правильность предположения проверьте экспериментально.

4. Выскажите гипотезу, как и почему будут изменяться показания амперметра (рис. 185), если точку А поочерёдно соединять медной проволокой с точками В и С. Сформулированное предположение проверьте экспериментально.

5. Какой установкой надо воспользоваться (рис. 186), чтобы проверить гипотезу: сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника?

6. Упр. на с. 372 (6).

Домашнее задание: упр. на с. 372 (4, 5).

Урок 10*. Решение задач. Самостоятельная работа

1. Какие знания о постоянном электрическом токе следует помнить? С этого вопроса начинается повторение. С помощью вопросов учителя выделяют главное. На доске коллективно заполняют таблицу 37.

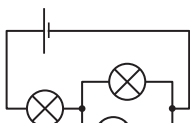


Рис. 184

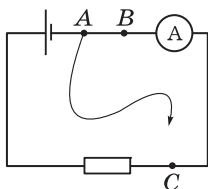


Рис. 185

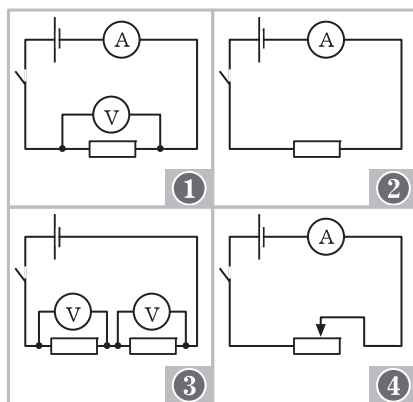
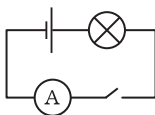


Рис. 186

Постоянный электрический ток

Факты, явления

- **Электрический ток** – упорядоченное движение электрических зарядов
- **Действия электрического тока**
- **Электрическая цепь** – физическая система, в которой наблюдается явление «электрический ток»



Модель. Средства описания

- Характеристики электрического тока – **сила тока, напряжение**
- Скорость распространения электрического поля – 300 000 км/с
- Участок цепи и закон Ома: $I = \frac{U}{R}$
- Полная цепь и закон Ома: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$
- Закон сохранения энергии в полной замкнутой цепи: $A_{\text{ст}} = Q$

Следствия. Применение явления

- Расчёт силы тока, напряжения и сопротивления
- Широкое использование действий электрического тока на производстве, в быту

II. Контроль знаний проводится в форме письменной работы по выполнению тестов или решения задач по вариантам. Тесты можно сравнительно легко составить из заданий известных пособий, типичная контрольная работа приведена в книге: Контроль знаний учащихся по физике в VI—X классах средней школы: Дидакт. материалы / Под ред. Э. Е. Эвенчик, С. Я. Шамаша. — М.: Просвещение, 1986. — С. 39. При конструировании тестов желательно, как и прежде, уделить внимание формированию методологических знаний. Приведём несколько примеров заданий.

1. Из приведённых высказываний выберите ответ, в котором перечислены только характеристики электрического тока.

А. Сила тока, напряжение, электрон. Б. Сила тока, закон Ома, электрический ток. В. Напряжение, сопротивление, электрическая цепь. Г. Сила тока. Д. Нет верного ответа.

2. Какое из приведённых ниже предположений проверил своими опытами Г. Ом?

А. Сила тока — величина постоянная. Б. Сила тока на участке цепи зависит от напряжения. В. Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на этом участке и обратно пропорциональна сопротивлению участка. Г. Сопротивление участка цепи зависит от силы тока и напряжения. Д. Нет верного ответа.

3. Как экспериментально определить сопротивление участка цепи?

А. Измерить амперметром. Б. По закону Ома разделить напряжение на силу тока. В. Измерить с помощью амперметра и вольтметра соответственно силу тока и напряжение, по формуле закона Ома выполнить расчёт. Г. Измерить вольтметром. Д. Экспериментально определить нельзя.

4. В каком случае закон Ома для участка цепи невозможно использовать для расчёта силы тока?

А. Всегда можно использовать. Б. Нельзя использовать, если сопротивление участка меняется. В. Нельзя использовать, если сопротивление цепи неизвестно. Г. Нельзя использовать, если нет источника тока. Д. Нет верного ответа.

Перспективным является использование *проверочных работ*, в которые включены экспериментальные задания. Приведём пример одного варианта для индивидуального выполнения.

Теоретическая часть

1. Какова основная функция физического наблюдения?

А. Открывать теории. Б. Фиксировать факты. В. Строить модели. Г. Измерять физические величины. Д. Открывать новые явления.

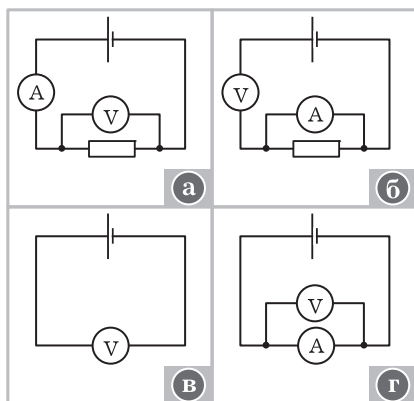


Рис. 187

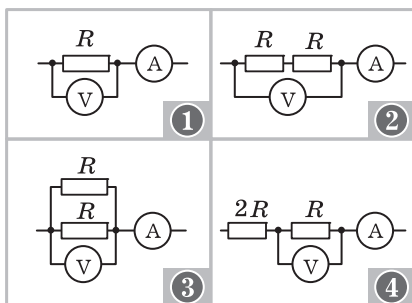


Рис. 188

2. Какую из предложенных установок (рис. 187) следует использовать для проверки гипотезы о том, что сила тока на участке цепи не зависит от сопротивления?

А. а. Б. б. В. в. Г. г. Д. Нет нужной установки.

3. Можно ли опровергнуть гипотезу, проведя всего лишь один опыт?

А. Во всех случаях нет. Б. Да, можно. В. Гипотезы в опытах не доказываются. Г. В опытах всегда измеряют физические величины. Д. Нет верного ответа.

4. В какой последовательности надо поставить опыты, чтобы доказать зависимость сопротивления проводника от площади поперечного сечения (рис. 188)?

А. 1 и 2. Б. 2 и 4. В. 1 и 4. Г. 2 и 3. Д. 3 и 1.

5. Определите вид соединения электрических ламп (рис. 189). Ответ обоснуйте.

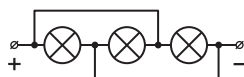


Рис. 189

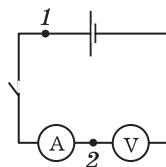


Рис. 190

Практическая часть

6. Выполните экспериментальное исследование для ответа на вопрос: как и почему изменятся показания приборов при замыкании электрической цепи, а затем при замыкании точек 1 и 2 между собой (рис. 190)?

Дополнительные задания

7. Определите пределы измерения, цену деления и абсолютную погрешность измерения приборов, которые вы использовали.
8. К полюсам источника тока подключите вольтметр. Как изменятся его показания, если последовательно с ним подключить другой лабораторный вольтметр? Ответ обоснуйте.

ГЛАВА XIV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Обучение, воспитание и развитие учеников должны осуществляться как сознательно планируемые действия. Поэтому в начале изучения этого раздела физики учитель на основе школьной программы, методических рекомендаций, а также своего личного опыта работы с учащимися формирует основные цели обучения, которые конкретизирует при обдумывании плана урока.

При изучении этой темы выделяют три этапа организации усвоения материала: определение физического явления, описание явления физическими величинами, законами и другими средствами (используются различные модели, математический и экспериментальный методы), примеры применения явления в технике и в жизни человека.

Описание физического явления связано с выяснением его природы. В данном случае это использование электронных представлений. Такой подход позволяет с единых позиций рассмотреть постоянный электрический ток в металлах, электролитах, газах, полупроводниках. В частности, выделяют следующие общие понятия в разделе: носители электрического тока, проводимость, зависимость проводимости от температуры, вольт-амперная характеристика.

Формирование практических и интеллектуальных умений — одна из основных целей при изучении электрического тока в различных средах, что в значительной степени определяет содержание и методику изучения материала. Формирование и контроль умений обеспечиваются постановкой и решением различных познавательных задач, при этом существенную роль играет мотивация учебной деятельности. Она достигается прямой постановкой цели, разнообразием содержания физических задач, разнообразием форм работы, различными формами контроля и поощрения.

Перечислим *основные умения*, формируемые при изучении этой темы. Ученик должен научиться качественно характеризовать электрический ток в среде по определённому плану, например: носители зарядов и механизм их образования, характер движения зарядов в электрическом поле, а также при его отсутствии, зависимость силы тока от напряжения, зависимость тока от внешних условий. Необходимо научить учащихся определять различные параметры, например сопротивление проводника, массу вещества при электролизе, скорость электронов и др., а также демонстрировать явление прохождения электрического тока в металле, газе, электролите, полупроводниковом диоде.

В отличие от познавательных задач не все задачи воспитания и развития можно явно выделить. Развитие творческих способностей, памяти, воли остаётся лишь обозначенным. Пути и средства достижения этих задач, а также их уровень в большей степени остаются делом самого учителя. Для ориентировки приведём вопросы и задания, помогающие задать уровень фор-

мирования важнейших элементов *мировоззрения* при изучении рассматриваемой темы.

1. Какие физические системы изучаются в теме? Какое физическое явление рассматривается в качестве основного? Каковы основные характеристики постоянного электрического тока в различных средах? Движение каких зарядов изучается в теме? Какие заряды считаются точечными? Как экспериментально доказать, что электроны являются носителями электрического тока в металле (ионы в электролите и др.)? Можно ли определить границы применимости закона Ома для электрического тока в газе? Почему необходимо ввести понятие о четвёртом состоянии вещества — плазме? В чём заключается природа электрического сопротивления? Каковы основные теоретические положения изучаемой темы? Какие можно привести примеры использования закона сохранения энергии для объяснения изучаемых явлений? Как объяснить огни святого Эльма, которые были названы так в Средние века? Какова природа молнии? Приведите примеры проявления в быту электрического тока в газе. Имеет ли значение хаотическое движение электронов в металле для электрического тока? В чём заключается определённая условность понятий «ди-электрик» и «проводник»?

2. Каковы общие и особенные черты электрического тока в различных средах? Что является причиной существования электрического тока в той или иной среде? Почему, несмотря на действие электрического поля, электроны в металле дрейфуют с постоянной средней скоростью? Почему иногда при определённом электрическом напряжении уменьшение давления газа, а значит, и числа зарядов приводит к увеличению силы тока? Выделите цепочку причинно-следственных связей при возникновении тока в двухэлектродной электронной лампе. Почему при объяснении опытов говорят, что ионизатор создаёт свободные заряды?

3. Какие физические эксперименты могут служить критерием истинности следующих теоретических положений: электрический ток в электролитах — направленное движение ионов; контакт двух полупроводников разного типа обладает односторонней проводимостью; сила тока в среде зависит от концентрации свободных зарядов и напряжённости электрического поля; масса вещества, выделяемого при электролизе, зависит от электрохимического эквивалента и др.? Докажите, что электрический ток в средах имеет важное народно-хозяйственное значение. В чём выражается развитие наших знаний об электрическом токе? Какова теоретическая модель дуговой сварки (тока в вакууме и др.)? Связаны ли токи в цепях эмиттер—база, коллектор—база причинно-следственной связью? Какова причина искрового разряда?

4. С электрическим током в каких средах мы встречаемся в быту? Какие качественные и количественные различия существуют у тока в металлах, жидкостях, газах, полупроводниках, вакууме? При каких условиях контакт двух полупроводников

разных типов будет проводить ток в обоих направлениях? Какие модели явлений и объектов используются в данной теме? Приведите примеры использования электрического тока в технике. Какие две противодействующие причины обеспечивают существование постоянного электрического тока? Зависит ли со-противление газа от электрического напряжения? Оцените это явление с точки зрения единства материального мира.

Темой «Электрический ток в различных средах» заканчивается изучение физики в 10 классе, поэтому следует предусмотреть планирование повторения, обобщения и контроля.

Урок 1. Основные положения электронной теории проводимости металлов

Задачи урока: выделить основные положения электронной теории проводимости металлов; повторить материал темы «Законы постоянного тока»; продолжить формирование умения использовать основные положения МКТ.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Вступление	4—5	Рассказ учителя. Запись названия темы
II. Изучение и отработка нового материала	30—35	Рассказ. Записи в тетради. Беседа. Работа с учебником. Решение задач. Опыт
III. Подведение итогов. Домашнее задание	4—5	Фронтальный опрос. Оценка знаний учащихся. Сообщение учителя

I. В этой теме продолжают рассматривать постоянный электрический ток. Представления об этом явлении существенно обогащаются. Токи бывают в разных средах, их закономерности неодинаковы, применение разнообразно. Учащиеся знакомятся с различными приборами и установками, которые используются для изучения токов или являются техническими устройствами на основе действия тока. По учебнику школьники (с комментариями учителя) знакомятся со структурой темы.

II. *Учебная проблема:* каковы основные теоретические положения электронной теории, на базе которых будет изучаться явление существования электрического тока в средах.

Изучение постоянного электрического тока во всех средах осуществляется по единому плану.

1. Какие заряды являются свободными и какова природа их образования?

2. Характер движения свободных зарядов при отсутствии и наличии электрического поля.

3. Вольт-амперная характеристика электрического тока в той или иной среде — основная закономерность явления.

4. Физические явления, обусловленные существованием тока в той или иной среде.

5. Технические устройства и их применение.

Желательно план составить в виде таблицы. Далее на примере тока в металлах формулируются основные положения электронной теории.

Изучение этого материала начинается с *вопроса*: какие частицы являются носителями электрического тока в металлах? Для ответа организуется работа с учебником: чтение, ответы на вопросы, зарисовка схемы опыта. Устно решают задачу.

1. Определите направление тока при резкой остановке катушки, если она вращается вокруг оси по часовой стрелке (или против часовой стрелки) (рис. 191, а).

Для доказательства электронной природы проводимости металлов немецкий физик Э. Рикке поставил опыт (1901). Через два медных и один алюминиевый цилиндры в течение года проходил ток. Сила тока была примерно равна 0,1 А (рис. 191, б). Химических изменений в цилиндрах не было обнаружено. Отсюда **вывод**: свободными зарядами являются общие для всех металлов частицы.

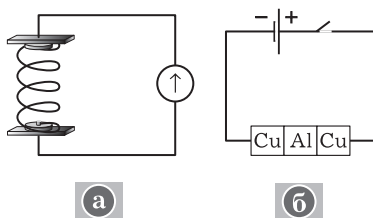


Рис. 191

Поведение свободных электронов в отсутствие и при наличии поля рассматривается при решении следующих задач.

2. Рассчитайте среднюю скорость теплового движения свободных электронов в металле при комнатной температуре.

Решение. На основе МКТ запишем:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT,$$

$$\overline{v^2} = \frac{3kT}{m},$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 1,2 \cdot 10^5 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Свободные электроны в металле движутся подобно частицам идеального газа, но с гораздо большими скоростями.

3. Оцените концентрацию свободных электронов в медном проводнике.

Решение. Рассчитаем сначала концентрацию ионов меди внутри проводника. Используем элементы МКТ.

В проводнике массой m содержится N ионов. Вещество проводника количеством вещества 1 моль содержит N_A ионов (число Авогадро), следовательно,

$$N = \frac{m}{M} N_A.$$

Но $m = \rho V$, где ρ — плотность меди, V — объём проводника. Тогда

$$N = \frac{\rho V}{M} N_A, \text{ или } \frac{N}{V} = \frac{\rho}{M} N_A.$$

Таким образом, концентрация ионов равна $\frac{\rho}{M} N_A$.

Однако ионы меди двухзарядные (это известно из химии), поэтому концентрация свободных электронов будет в 2 раза больше:

$$n = \frac{2 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{64 \cdot 10^{-3}} = 1,7 \cdot 10^{29} \text{ (м}^{-3}\text{)}.$$

4. Определите среднюю скорость упорядоченного движения электронов под действием электрического поля в медном проводе с площадью поперечного сечения 1 мм^2 при силе тока, равной 10 А .

Решение. В проводнике длиной l с площадью поперечного сечения S создано стационарное электрическое поле. (Проводник является участком замкнутой электрической цепи.)

Пусть за время t находящиеся в этом проводнике свободные заряды проходят через поперечное сечение проводника. Тогда сила тока $I = \frac{q}{t}$, при этом $q = enSl$, где e — заряд электрона (по модулю).

Следовательно,

$$I = enS \frac{l}{t}.$$

Известно, что $\frac{l}{t} = \bar{v}$ — средняя скорость направленного движения частиц. Тогда $I = enS\bar{v}$, откуда $\bar{v} = \frac{I}{enS}$.

В итоге получаем

$$\bar{v} = \frac{10}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,7 \cdot 10^{29} \cdot 10^{-6}} = 4 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Учитель ставит и обсуждает с классом *учебную проблему*: почему при замыкании ключа ток появляется практически мгновенно во всех участках цепи, хотя скорость направленного движения электронов мала.

Итак, сила тока зависит от скорости движения свободных частиц. Но у нас ток постоянный. Как тут быть? Оказывается, скорость направленного движения электронов в проводнике практически сразу становится постоянной. Причина этого — действие ионов кристаллической решётки. С одной стороны, взаимодей-

ствие свободных электронов и ионов приводит к изменению скорости движения электронов и, в конце концов, к установлению постоянной средней скорости. С другой стороны, скорость колебательного движения ионов возрастает — проводник нагревается. Демонстрируют нагревание проводника электрическим током. Делают вывод о преобразовании энергии.

В заключение повторяют вольт-амперную характеристику для металлов, строят и обсуждают график.

III. Итоги урока подводят в ходе фронтального повторения с использованием таблицы 38.

Выводы.

1. Носители тока — свободные электроны.

2. Электроны хаотично движутся с большой скоростью, значительно превышающей скорость пули. Под действием поля на это движение накладывается поступательное движение электронов с малой скоростью. Скорость распространения электрического поля при замыкании цепи огромна и равна $3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

3. Из-за взаимодействия электронов проводимости и ионов скорость направленного движения электронов постоянна; колебание ионов возрастает — идёт нагрев вещества.

4. Основная закономерность — закон Ома для участка цепи.

Домашнее задание: § 114; П., № 559.

Урок 2. Зависимость сопротивления металлического проводника от температуры

Задачи урока: ознакомить с явлениями сверхпроводимости и зависимости сопротивления проводников от температуры и их применением в народном хозяйстве; сформировать умение объяснять различные свойства постоянного электрического тока на основе положений электронной теории; ввести понятие о границах применимости закона Ома.

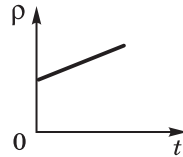
План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение и контроль знаний	5	Беседа
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Демонстрация. Беседа. Работа с учебником. Выступления учащихся
III. Отработка изученного материала. Самостоятельная работа	15—20	Решение задач
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

Постоянный электрический ток в металлах

Факты

- Явление существования постоянного электрического тока в металле
- Зависимость сопротивления металлического проводника от температуры
- Понятия: I , U , R и др.



Модель

- Гипотеза об электронной проводимости металлов; факт и роль теплового движения электронов
- Модель явления — направленный дрейф свободных электронов с постоянной скоростью
- Природа явления — действие электрического поля и действие ионов

Следствия

- Объяснение нагревания металла с точки зрения электронных представлений
- Вывод закона Ома для участка цепи на основе электронных представлений:

$$I = U \frac{kenS}{l}$$

- Опыты Манделъштама по доказательству электронной проводимости металлов

I. Для фронтальной беседы используют *вопросы*: как движутся электроны в металлическом проводнике в отсутствие электрического поля? Как движутся электроны в металлическом проводнике при наличии электрического поля? В чём заключаются основные положения электронной теории? Какую цель преследовали опыты Манделъштама? Как проводился эксперимент? К каким теоретическим выводам привели результаты этих опытов? (При повторении можно использовать таблицу 38.)

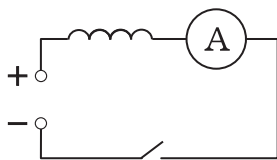


Рис. 192

II. Демонстрируют явление зависимости силы тока от температуры проводника. Логически (на основе закона Ома) делают вывод о зависимости сопротивления проводника от температуры. Ставят *опыт*. Схема опыта показана на рисунке 192.

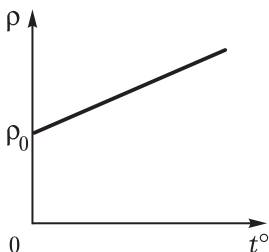


Рис. 193

Оборудование: ВС-4-12, амперметр демонстрационный с шунтом на 3 А, самодельная стальная спираль или спираль от прибора по демонстрации зависимости сопротивления от температуры, провода. При постоянном напряжении 6—8 В стрелка прибора сначала отклоняется почти на всю шкалу, а потом показания медленно (с нагревом спирали от прохождения электрического тока) уменьшаются. *Вопросы для организации беседы*: почему показания амперметра уменьшаются? Будут ли изменяться показания прибора, если подуть на спираль? (К столу приглашают одного ученика.) Как изменятся показания, если спираль нагреть спичкой или спиртовкой?

Перед изучением формулы зависимости удельного сопротивления от температуры желательно рассмотреть график (рис. 193).

Теоретическое объяснение явления состоит в применении элементов электронной теории. Причём такое объяснение связано с углублённым изучением закона Ома. Так как при рассказе используется частично знакомый материал, то уместно чередовать рассказ с беседой или в подготовленных классах проводить только беседу.

На предыдущем уроке получена формула $I = enS\bar{v}$. Но средняя скорость движения зарядов прямо пропорциональна напряжённости E (учебник, § 114): $\bar{v} = kE$.

Для однородного поля напряжённость $E = \frac{U}{l}$, тогда средняя скорость $\bar{v} = k\frac{U}{l}$. Подставляя это выражение в формулу для силы тока, получаем $I = U\frac{kenS}{l}$. Сравниваем этот результат с

формулой закона Ома $I = U\frac{S}{\rho l}$ и делаем **вывод**: удельное сопротивление ρ металлического проводника

$$\rho = \frac{1}{ken}.$$

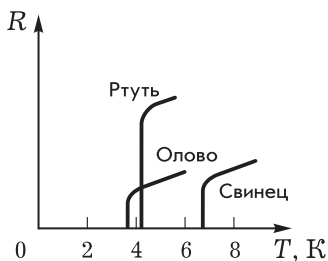


Рис. 194

Коэффициент k зависит от вида ионов, находящихся в узлах кристаллической решётки металла, и расстояния между ними (при наличии примесей структура решётки нарушается и коэффициент k уменьшается, а ρ и R возрастают), от интенсивности колебательного движения ионов относительно положений равновесия. При возрастании температуры колебательные движения ионов усиливаются,

вероятность взаимодействия электронов с ними возрастает, значит, коэффициент k уменьшается, а ρ и R возрастают. (В дальнейшем этот вывод можно спросить у школьника, предложив воспользоваться конспектом.)

Для логического перехода к изучению явления сверхпроводимости ставится *учебная проблема* существования границы применимости закона Ома. В тех случаях, когда удельное сопротивление проводника зависит от действия поля (напряжения), закон Ома не выполняется, так как нет прямо пропорциональной зависимости силы тока от напряжения. Учитывая формулу $\rho = \frac{1}{ken}$, можно отметить, что это наблюдается тогда, когда

скорость носителей заряда или концентрация свободных зарядов зависит от напряжения электрического поля. Например, в газе концентрация зарядов зависит от напряжённости поля.

Другая граница применимости закона Ома связана с зависимостью сопротивления металлического проводника от температуры. В начале века было открыто принципиально новое для физики явление: при низких температурах сопротивление становится равным нулю (рис. 194). Такое явление называли **сверхпроводимостью**. У разных металлов температура, при которой наблюдается сверхпроводимость, разная. Сейчас открыты соединения элементов, у которых сверхпроводимость наступает при температурах выше 150 К.

Лучше всего по сверхпроводимости организовать одно или два выступления. Главные темы: краткая история, сущность явления, основные свойства сверхпроводников, их применение и перспективы использования.

III. Цель самостоятельной работы — отработка изученного материала, поэтому допускается использование учебника. Возможное *задание*: составить план рассказа о сверхпроводимости (§ 115 учебника). *Вопросы*: какие физические явления наблюдаются при сверхпроводимости? Где применяются сверхпроводники и каковы перспективы их использования? Почему сопротивление проводника зависит от температуры и какое это имеет практическое значение? Задачи для решения: П., № 563, 564. При подведении итогов используется таблица 38.

IV. Домашнее задание: § 115; П., № 561.

Урок 3. Электрический ток в полупроводниках. Собственная и примесная проводимости

Задачи урока: изучить природу носителей электрического тока в полупроводниках; продолжить формирование умения применять электронные представления в конкретном случае.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение. Постановка задач урока	3—6	Сообщение учителя. Запись на доске
II. Изучение нового материала	25—30	Рассказ. Работа с таблицами и учебником. Записи в тетради. Беседа. Демонстрация
III. Отработка изученного материала	10—12	Решение задач. Фронтальный опрос
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Кроме проводников с очень высокой электропроводностью, а также изоляторов, существует большой класс веществ, занимающих промежуточное положение. Важной особенностью этих веществ является уменьшение их сопротивления при увеличении температуры. Проводят *опыт*, демонстрирующий увеличение силы тока при нагревании термистора. Это свойство противоположно свойствам проводников. Возникает *вопрос*: почему так происходит?

II. Изучение нового материала начинают с того, что сначала рассматривают особенности строения полупроводников, природу носителей заряда. Как и раньше, зная всё о носителях заряда, можно понять электрические свойства полупроводников.

Опыты, подобные описанному выше, убеждают, что химические свойства вещества полупроводника при прохождении тока не меняются. Переноса вещества нет. Следовательно, носителями тока в полупроводниках являются электроны.

Все полупроводники обладают **собственной проводимостью**. Она может быть двух типов: электронная и дырочная (рис. 195). На примере кристаллической решётки кремния показывают механизм образования этих типов проводимости. Следует отметить, что концентрация электронов и дырок в обычных условиях невелика; полупроводники с собственной проводимостью обладают большим сопротивлением.

Теоретическое объяснение механизма образования носителей

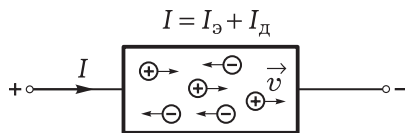


Рис. 195

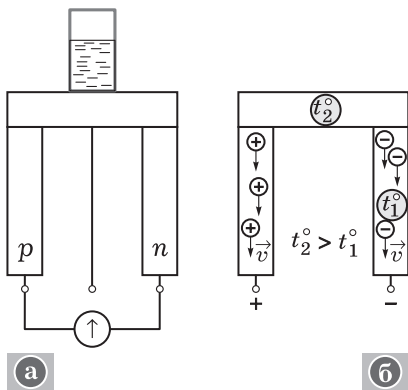


Рис. 196

тока в полупроводнике подтверждается проведённым опытом. При нагревании кристалла количество свободных электронов и дырок увеличивается вследствие разрыва связей, следовательно, увеличивается сила тока.

Если в чистый кристалл четырёхвалентного кремния добавляют примесь, например пятивалентный мышьяк, то проводимость существенно изменяется. Число свободных электронов (в дополнение к электронам и дыркам собственной проводимости) резко возрастает.

Такой полупроводник называют **полупроводником *n*-типа**. Если в кристалл кремния добавляют несколько атомов трёхвалентного бора, то образуется избыток дырок, число которых в тысячи раз больше числа носителей чистого полупроводника. Такой полупроводник называют **полупроводником *p*-типа**. Отсюда и **вывод**: при наличии примеси основную роль начинает играть примесная проводимость. (При изложении этой части материала используют элементы беседы.)

Далее учитель показывает *опыт* с термоэлементом (ДЭ, опыт 162; см. также рис. 196, а) по определению типа носителей зарядов в полупроводниках *p*-типа и *n*-типа. В качестве нагревателя используется стакан с горячей водой. Для регистрации тока используется гальванометр от демонстрационного вольтметра с малым внутренним сопротивлением.

На уроке не нужно подробно рассматривать опыт. Сначала учитель рассказывает о термоэлементе как источнике тока, состоящем из двух полупроводников, имеющих разную температуру на торцах, в результате чего и возникает ЭДС. Суть наблюдаемого явления состоит в следующем: при нагревании контакта полупроводников разных типов происходит диффузия основных носителей свободных зарядов к холодному концу каждого полупроводника (рис. 196, б). При замыкании холодных концов на гальванометр видно, что через него идёт электрический ток.

По направлению электрического тока можно определить тип полупроводника.

Для организации беседы используют *вопросы*: для чего служат медные П-образные пластинки? Как по направлению тока определить тип полупроводника? Какие преобразования энергии происходят на участке электрической цепи с термоэлементом? Имеет ли это практическое значение?

Учитель или ученик ставит опыт по увеличению тока при освещении фоторезистора (ДЭ, опыт 157). *Вопросы для обсуждения*: почему изменяется сила тока в цепи при освещении фоторезистора? Зависит ли сила тока от полярности включения фоторезистора?

ра? Изменяется ли сопротивление фоторезистора при его освещении? Как используются свойства фоторезисторов?

Приведённые (или другие подобные) опыты должны прежде всего познакомить школьников с разнообразием физических явлений, происходящих в полупроводниках. В зависимости от подготовки класса объяснения опытов должны быть в большей или меньшей степени подробны. Но о применении полупроводников следует рассказать как можно больше.

III. На заключительном этапе урока решают качественные и количественные задачи.

1. Какую валентность должна иметь примесь к германиевому полупроводнику, чтобы он обладал электронной проводимостью? дырочной проводимостью?
2. Энергии, необходимые для образования электронов проводимости в германии и кремнии, соответственно равны $1,12 \cdot 10^{-19}$ и $1,76 \cdot 10^{-19}$ Дж. В каком из этих полупроводников при данной температуре будет большая концентрация собственных электронов проводимости?
3. Вольт-амперная характеристика полупроводника показана на рисунке 197. Применим ли закон Ома для участка цепи с этим полупроводником?

Ответ. На участке графика от нуля до точки *Б* закон Ома выполняется, на остальном участке нет. При движении от точки *Б* к точке *С* по графику сила тока растёт быстрее. Это объясняется увеличением числа носителей электрического тока при нагревании полупроводника. Нагрев полупроводника осуществляется самим же током. При большом нагреве полупроводника требуется уже меньшее напряжение, чтобы поддерживать тот же или даже больший ток.

4. На рисунке 198 приведены графики вольт-амперных характеристик фоторезистора при разной его освещённости. Какой график соответствует большей освещённости? Применим ли закон Ома для данного фоторезистора?

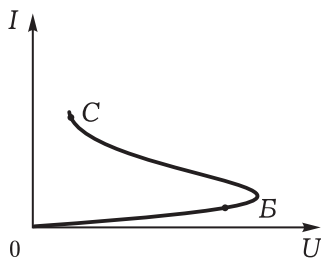


Рис. 197

Ответ. Второй график соответствует большей освещённости. Закон Ома справедлив для данного фоторезистора в данном диапазоне напряжений.

Рисунки выполняют в тетрадах. По рисунку 198 можно составить задания: вычислите сопротивления полупроводников при определённых значениях напряжения. Объясните, почему сопротивления неодинаковые.

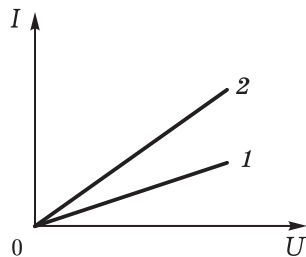


Рис. 198

IV. Домашнее задание: § 116; П., № 565, 568.

Урок 4*. Совершенствование знаний и умений

Задачи урока: сформировать умение применять электронные представления о проводимости полупроводников для объяснения работы термисторов и фоторезисторов; показать способы применения полупроводников при конструировании установок, изготовлении технологических цепей на производстве.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Организационный момент урока	2	Сообщение учителя о задачах урока
II. Самостоятельная работа	20—25	Работа в тетради, использование учебника. Индивидуальная помощь
III. Повторение и совершенствование знаний	15	Демонстрация опыта. Рассказ. Решение задач
IV. Домашнее задание	2	Сообщение учителя

II. В начале урока проводится самостоятельная работа. Её основная цель — отработка знаний и умений. При выполнении работы используют учебник, тетрадь.

Самостоятельная работа

Вариант 1

1. В чём состоит механизм электронной и дырочной проводимости полупроводников?
2. Удельные сопротивления магния и теллура при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно равны $0,04 \cdot 10^{-6}$ и $5000 \cdot 10^{-6}\text{ Ом} \cdot \text{м}$, а при температуре $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно $0,13 \cdot 10^{-6}$ и $25 \cdot 10^{-6}\text{ Ом} \cdot \text{м}$. Какое из этих двух веществ полупроводник? Почему?
3. Самостоятельно составьте два-три задания (вопроса) к содержанию § 116 (может быть дана таблица и др.).

Вариант 2

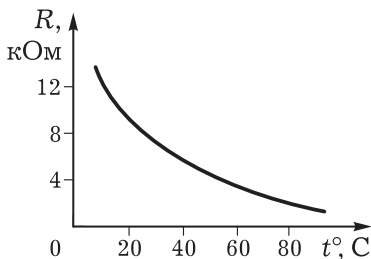


Рис. 199

1. Чем отличается механизм примесной проводимости от механизма собственной проводимости в полупроводниках?
2. На рисунке 199 приведена зависимость сопротивления термистора от температуры. Во сколько раз изменилось сопротивление термистора при нагревании его от 20 до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$? Объясните механизм изменения сопротивления. Индивидуально: опре-

делите температуру среды, в которую помещён термистор, если при напряжении 18 В сила тока, идущего по нему, равна 10 мА.

3. Самостоятельно составьте два-три задания (вопроса) к содержанию § 116 (может быть дана таблица, схема и др.).

III. Учитель демонстрирует опыты по применению термисторов и фоторезисторов (ДЭ, опыты 154—159). Ведётся соответствующий рассказ. Желательно привлечь школьников к демонстрации опытов и объяснению результатов.

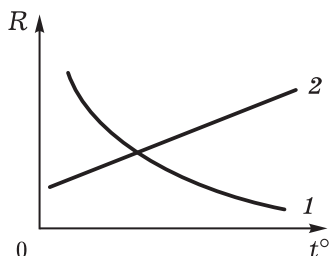


Рис. 200

Далее решают задачи.

1. К концам участка цепи, состоящего из последовательно включённых термистора и резистора сопротивлением 1 кОм, подано напряжение 20 В. При комнатной температуре сила тока была 5 мА. Когда термистор опустили в воду, сила тока увеличилась до 10 мА. Во сколько раз в результате нагрева изменилось сопротивление термистора?
2. Какой из графиков (рис. 200) характеризует свойства металла, а какой — полупроводника? Почему?

Решению графических задач, в которых качественная сторона физической закономерности представлена наглядно, должно уделяться внимание на каждом уроке. Причём объяснение явления многократно проговаривается.

IV. Домашнее задание: повторить § 116; П., № 569.

Урок 5. Электронно-дырочный переход. Полупроводниковый диод

Задачи урока: рассмотреть применение элементов электронной теории к контакту двух полупроводников; изучить основные свойства электронно-дырочного перехода; ознакомить с устройством и применением диода.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка задачи урока. Повторение знаний	2—7	Сообщение учителя. Фронтальный опрос. Записи в тетради
II. Изучение нового материала	25—30	Рассказ. Демонстрация опытов. Беседа
III. Закрепление изученного материала. Решение задач	10—15	Беседа. Записи в тетради
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

I. В начале урока желательно с помощью фронтального опроса повторить на качественном уровне ранее изученный материал; главное — собственная и примесная проводимости полупроводников. Для подготовки учащихся к изучению нового материала важно обратить их внимание на движение свободных зарядов при отсутствии поля. *Вопросы для организации беседы:* какие носители тока в полупроводнике являются основными, а какие — не основными? Как движутся электроны проводимости в полупроводнике при отсутствии и при наличии поля? Как изменяется механизм проводимости при введении донорных или акцепторных примесей?

II. Ставят учебную проблему: каковы свойства контакта двух полупроводников разных типов и как они объясняются на основе электронных представлений.

Рассказ с элементами беседы учитель начинает с выяснения микромеханизма процессов на границе соединения полупроводников p - и n -типов. В ходе беседы учащиеся выполняют рисунки. *Вопросы для обсуждения:* нейтральны ли полупроводники в момент контакта? Какие заряды изображены на рисунке 201? Как образуется контактный слой двух полупроводников (рис. 202)? В результате чего возможно проникновение дырок в n -полупроводник, а свободных электронов в p -полупроводник?

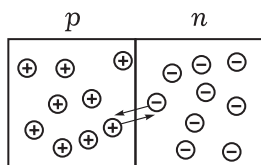


Рис. 201

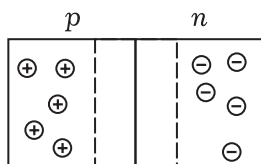


Рис. 202

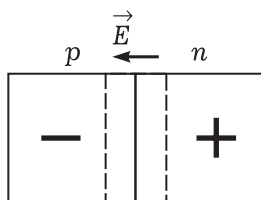


Рис. 203

Изменяется ли заряд полупроводников при таком процессе? Изменяется ли число свободных зарядов в контактном слое? Почему сами полупроводники заряжаются противоположным зарядом по отношению к знаку основных носителей? Какую роль играет электрическое поле контактного слоя (рис. 203)? Почему не происходит рекомбинации зарядов по всему полупроводнику? Как направлено электрическое поле в контактном слое? Какое это имеет значение? Как изменится сопротивление контактного слоя, если усилить электрическое поле в контактном слое внешним полем? Как будут двигаться свободные электроны и дырки при данном подключении внешнего напряжения (рис. 204)? Как будут двигаться дырки при противоположном подключении напряжения (рис. 205)? Как в этом случае будет меняться электрическое сопротивление контакта двух полупроводников? Больше или меньше будет носителей зарядов в контактном слое в случае, изображённом на рисунке 204?

Для качественного усвоения материала надо неоднократно с учениками прогово-

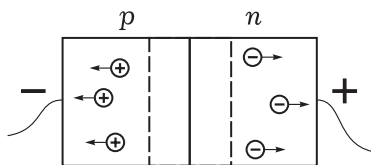


Рис. 204

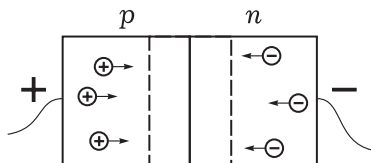


Рис. 205

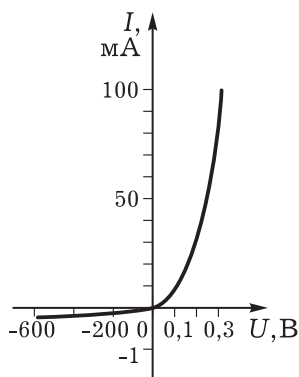


Рис. 207

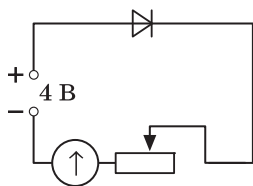


Рис. 206

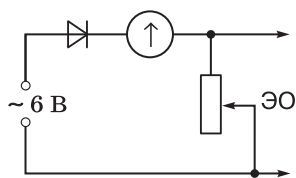


Рис. 208

речь основные этапы процессов, происходящих на границе двух полупроводников, хорошо поработать со схемами. Далее учитель рассказывает о **диоде**. (Возможно использование раздаточного материала.) Учитель проводит *опыт*, демонстрирующий одностороннюю проводимость диода, с помощью установки, схема цепи которой приведена на рисунке 206. **Оборудование**: диод Д7Ж, В-24М или ВС-4-12, реостат на 3000—5000 Ом, гальванометр от демонстрационного амперметра, ключ, провода. Вначале учитель демонстрирует наличие прямого тока, потом задаёт *вопрос*: каковы будут показания прибора, если изменить подключение диода на противоположное? Естественным выводом при обсуждении проблемы является выполнение графика вольт-амперной характеристики диода (рис. 207). На опыте желательно показать увеличение силы прямого тока при повышении напряжения. Затем учитель *демонстрирует* применение диода для выпрямления тока по схеме рисунка 208. Используют **оборудование**: В-24М, диод Д7Ж на подставке, гальванометр от демонстрационного амперметра, реостат на 5000 Ом, осциллограф, провода. Далее учитель организует *беседу по вопросам*: как по виду осциллограммы доказать, что при включении диода идёт ток в одном направлении? Какова будет осциллограмма тока, если подключить такое же постоянное напряжение?

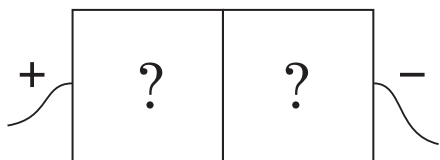


Рис. 209

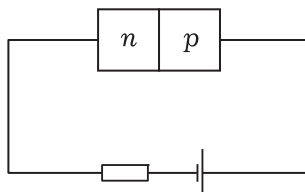


Рис. 210

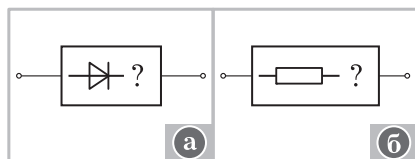


Рис. 211

Знакомство с практическим применением полупроводников может быть продолжено при демонстрации видеоматериалов. Один из школьников может выступить с кратким сообщением, используя презентацию, наглядные пособия

или отдельные кадры видеофильма о полупроводниках и их применении.

III. Решение задач закрепляет представления о принципе работы диода.

1. С помощью вольт-амперной характеристики диода определите его сопротивление, если напряжение равно 0,2 В при прямом включении и 200 В при обратном включении (см. рис. 207).
2. Определите тип проводимости полупроводников, если при указанном включении тока нет (рис. 209).
3. Будет ли идти ток в данной цепи (рис. 210)?

Вопросы: как, не снимая крышки, доказать, что в одной из непрозрачных коробок находится диод, а в другой — резистор (рис. 211, а, б)? Выполняется ли закон Ома для диода (на основе вольт-амперной характеристики)?

IV. Домашнее задание: § 117*; П., № 570.

Урок 6*. Транзистор

Задачи урока: изучить принцип работы и свойства транзистора; продолжить формирование умения объяснять прохождение тока в полупроводнике на основе электронных представлений.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Контроль знаний	5—7	Фронтальная беседа. Письменный ответ
II. Изучение нового материала	25	Рассказ. Беседа. Демонстрация опытов

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
III. Самостоятельная работа	17—20	Работа с учебником. Решение задач
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	3—5	Рассказ ученика. Запись на доске

I. Вопросы для организации повторения: какие основные положения электронной теории используют для объяснения свойств полупроводников? (Рассматривают природу носителей тока в полупроводниках, их движение при отсутствии и наличии поля, т. е. рассматривают микромеханизм явления.) Почему носители тока в полупроводнике не могут удержаться в области $p-n$ -перехода? Почему сила прямого тока в полупроводниковом диоде значительно больше силы обратного тока при одинаковом напряжении? Почему при изготовлении полупроводниковых материалов основное внимание уделяется их чистоте? Каким типом проводимости обладают полупроводниковые материалы без примеси?

Для письменной работы лучше всего подобрать задания с выбором ответа на объяснение рисунка. Ответы должны быть краткими.

1. Покажите, какой из приведённых графиков соответствует зависимости удельного сопротивления от температуры для термистора (рис. 212, $a—г$). Почему?
2. Определите тип проводимости полупроводников по обе стороны контакта, если через диод проходит ток (рис. 213).
3. Какая вольт-амперная характеристика фоторезистора соответствует его затемнённому состоянию (рис. 214)?

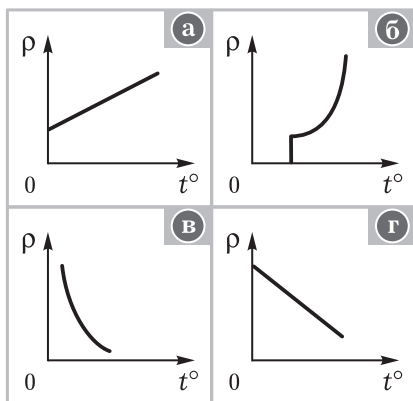


Рис. 212

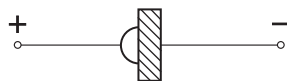


Рис. 213

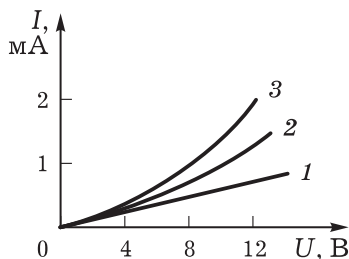


Рис. 214

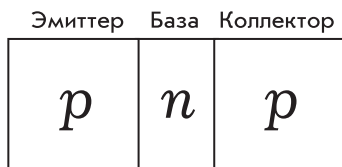


Рис. 215

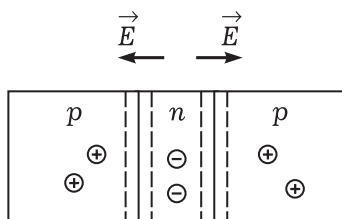


Рис. 216

стоен Нобелевской премии второй раз (вместе с Л. Купером и Дж. Шриффером) за разработку теории сверхпроводимости.

Изучение транзистора можно начать с описания принципа его действия. С помощью схем-моделей, которые вычерчиваются на доске и в тетради, организуется беседа. Приведём основные этапы рассказа и вопросы для организации беседы.

Транзистор состоит из трёх полупроводников (рис. 215). Обсуждают *вопросы*: каковы основные носители тока в изображённых полупроводниках? (Изобразим, например, по два заряда.) Как заряжаются полупроводники после образования контактного слоя? Почему это происходит? Как направлено электрическое поле в каждом контактном слое? (Ответ дан на рисунке 216.) Как будет работать контакт трёх полупроводников, если его включить в цепь, как показано на рисунке 217? Может ли идти ток в цепи эмиттер—база? (Ответ. Может.) Может ли идти ток в цепи база—коллектор? (Ответ. Нет. Внешнее поле усиливает поле контактного слоя — его сопротивление очень велико.) Как

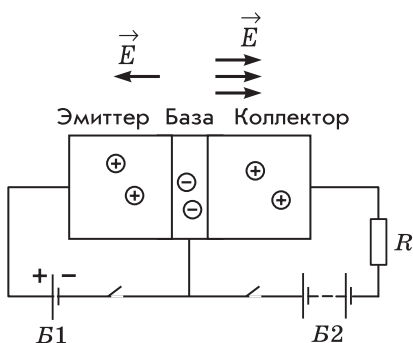


Рис. 217

II. При изучении нового материала лучше использовать рассказ с элементами беседы. Контакт двух полупроводников разных типов $p-n$ даёт полупроводник с новыми свойствами — диод. Оказывается, создание контакта трёх полупроводников $p-n-p$ приводит также к появлению полупроводника с новыми свойствами — **транзистора**.

Учитель сообщает, что транзистор был создан в 1948 г. американскими физиками Дж. Бардином, У. Браттейном и У. Шокли, которые за открытие транзисторного эффекта получили в 1956 г. Нобелевскую премию. Один из этих физиков — Дж. Бардин — в 1972 г. был удо-

же будет идти ток, если замкнуть оба ключа? Куда будут двигаться дырки эмиттера? (Ответ. Вправо.) Могут ли эти дырки двигаться дальше, к коллектору? Не мешает ли им поле база—коллектор? (Ответ. Нет. Наоборот, усиливает их движение.) Таким образом, дырки эмиттера создают ток как в цепи эмиттер—база, так и в цепи база—коллектор. Токи в эмиттере и коллекторе приблизительно равны, так

как большая часть (около 95%) дырок эмиттера уходит в коллектор. Как это объяснить? (Ответ на вопрос связан с изучением устройства транзистора.) База — очень тонкий слой. Площадь поверхности коллекторного перехода в несколько раз больше эмиттерного (рис. 218). Учитель задаёт *вопрос*: если менять силу тока в цепи эмиттер—база, то будет ли меняться сила тока в цепи база—коллектор? (Ответ. Будет.) Но батарея *B2* даёт большее напряжение на участках цепи база—коллектор, поэтому мощность сигнала в этой цепи (например, на резисторе) будет значительно больше мощности сигнала в цепи эмиттер—база. Транзистор при таком включении может усиливать сигнал по мощности — это его основное свойство. Вводится обозначение транзистора.

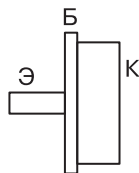


Рис. 218

Затем учитель показывает *опыт* по демонстрации усиливающих свойств транзистора (рис. 219). Оборудование: фотодиод как источник тока, два одинаковых гальванометра от амперметра, транзистор из набора, ВС-4-12, лампочка на 100 Вт, провода. *Вопросы для обсуждения* при проведении опыта: как и почему изменяются показания второго гальванометра при увеличении освещённости фотоэлемента?

Оцените коэффициент усиления тока. Изменяются ли показания гальванометров, если поменять полярность подключения фотоэлемента? (Опыт желательно поставить повторно и на следующем уроке.)

III. Письменная самостоятельная работа выполняется в тетрадах, две-три тетради по выбору проверяются. Примеры *вопросов*: каковы преимущества транзистора? Будет ли идти ток в цепи коллектора, если в цепи эмиттера поменять полярность включения батареи? Можно ли записать: $I_э = I_б + I_к$?

На рисунке 220 приведена вольт-амперная характеристика коллектора при разном токе базы. Выполняется ли закон Ома для этого участка цепи? Определите сопротивление коллектора при напряжении на нём 3 В. Зависит ли его сопротивление от тока базы? Почему?

IV. При подведении итогов можно предложить одному ученику рассказать о принципе работы транзистора по своим записям

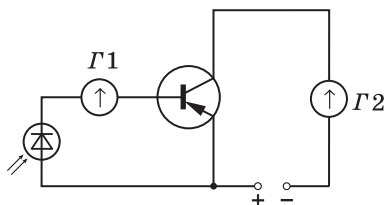


Рис. 219

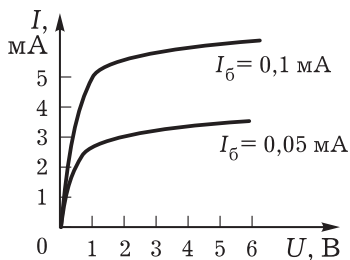


Рис. 220

в тетради. Для получения обратной связи используют элементы беседы.

Домашнее задание: § 117*; П., № 571.

Урок 7*. Совершенствование знаний и умений

Задачи урока: познакомить школьников с примерами, принципами и проблемами использования полупроводников в народном хозяйстве.

Продолжить формирование общих и специальных умений: выделять главное, обобщать изученный материал, выражать свои мысли в речи, решать задачи на свойства диода и транзистора.

I. В начале урока необходимо повторить принцип работы диода и транзистора. Для письменного ответа двум-трём учащимся могут быть предложены задания по рисункам (см. ранее). При обсуждении ответов можно использовать *вопросы*: что общего у различных полупроводников и чем они различаются? Каковы преимущества и недостатки транзистора и полупроводникового диода?

II. При обобщении знаний (15—20 мин) используют фронтальную беседу, рассказ школьника у доски, работу с учебником, записи на доске и в тетрадях.

Фронтальная беседа организуется по *вопросам*: от чего зависит явление прохождения электрического тока в полупроводниках? (О т в е т. От типа полупроводника, контакта двух или трёх полупроводников, внешних воздействий: нагрева, освещения, излучения.) Почему при нагревании или освещении сопротивление полупроводника уменьшается? (О т в е т. Появляется больше носителей тока.) Зависит ли сила тока от напряжения на полупроводнике? (На рисунке 221 показаны вольт-амперные характеристики термистора и фоторезистора при небольших значениях приложенного напряжения.) Как объяснить вольт-амперную характеристику термистора (рис. 222)? (О т в е т. При больших напряжениях ток сам нагревает термистор и уменьшает его проводимость, т. е. увеличивает сам себя.)

При ответах учащиеся используют учебник, переносят графики в тетради.

Один из учеников кратко повторяет основные данные о диоде (определение, вольт-амперная характеристика, её объяснение с

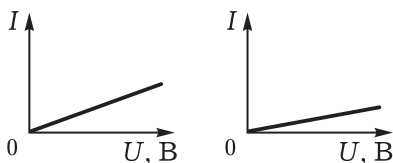


Рис. 221

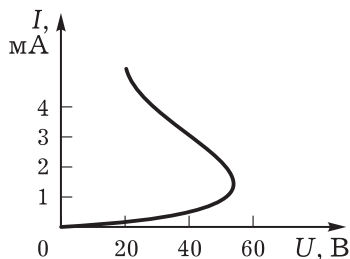


Рис. 222

точки зрения электронных представлений, применение). В качестве раздаточного материала на столы выдают различные диоды. Дополнение ответа происходит в форме беседы по обсуждению следующих *вопросов*: почему диоды имеют различную форму и объём? Чем они отличаются друг от друга? Как объяснить возрастание обратного тока диода при больших напряжениях? Чем отличаются друг от друга вольт-амперные характеристики освещённого и неосвещённого фоторезисторов? Почему прямой ток, проходящий через диод, значительно больше обратного при одинаковых напряжениях?

При рассказе ученик может повторить ранее поставленный эксперимент.

План обобщения материала о транзисторе может быть следующий: определение, основное свойство, принцип работы, применение. Как и ранее, организуется беседа по *вопросам*: зависит ли сила тока в цепи коллектора от силы тока в цепи эмиттера? Какова вольт-амперная характеристика эмиттерного перехода? Отличается ли от неё вольт-амперная характеристика коллекторного перехода (см. рис. 220)? Чем можно объяснить, что концентрация примесей в эмиттере больше, чем в базе?

III. При выступлении с докладом ученик показывает и комментирует таблицу 39. Желательно использовать материалы из дополнительных источников информации.

IV. В заключение этой части урока учитель вместе с классом делает **вывод**: объяснение прохождения электрического тока в полупроводниках возможно на основе электронных представлений, т. е. на основе рассмотрения микромеханизма явления.

Домашнее задание: П., № 566, 567.



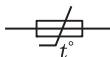


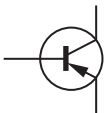

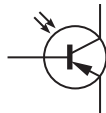
Урок 8. Электрический ток в вакууме

Задачи урока: ввести понятие «термоэлектронная эмиссия»; выяснить условия существования тока в вакууме; изучить устройство и принцип действия диода и его вольт-амперную характеристику.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение изученного материала. Постановка учебной проблемы урока	3—5	Беседа. Рассказ учителя
II. Изучение нового материала	20—25	Решение экспериментальных задач. Рассказ. Беседа. Эксперимент
III. Решение задач	15—20	Работа в тетради. Беседа
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

Применение полупроводников

<p>Полупроводниковый диод</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Выпрямители 	<p>Фотодиод</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Измерение интенсивности излучения
<p>Термистор</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Измерение температуры • Пожарная сигнализация • Болотомеры • Реле времени 	<p>Светодиод</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Источники инфракрасного излучения • Цифро-знаковые индикаторы • Лазеры
<p>Фоторезистор</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Кино • Телевидение • Автоматическое включение света • Индикаторы на спутниках • Теплофотография местности • Контроль качества поверхности 	<p>Транзистор</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Усилители мощности
<p>Фотоэлемент</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Солнечные батареи 	<p>Фототранзистор</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Различные датчики

I. Повторение пройденного материала организуется по *вопросам*: какое физическое явление называют постоянным электрическим током? Каковы условия существования электрического тока?

Далее учитель рассказывает, что в разных средах условия существования постоянного электрического тока разные. На данном уроке необходимо рассмотреть электрический ток в особой, специфической среде — вакууме. **Вакуум** — это сильно разреженный газ, в котором молекулы газа уже не сталкиваются друг

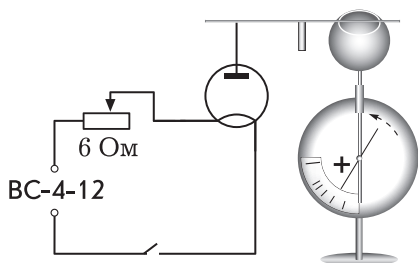


Рис. 223

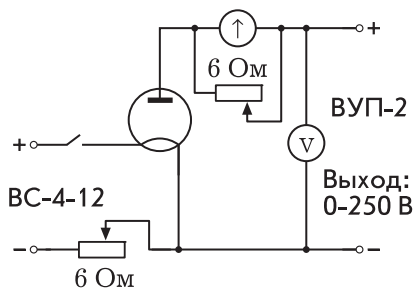


Рис. 224

с другом. В вакууме нет носителей электрического тока. Таким образом, вакуум ток не проводит и поэтому проводником не является. Но всё же ток в вакууме возможен. При каком условии?

II. Для получения тока в вакууме нужно, чтобы там появились свободные заряды. Для обеспечения этого условия широко используется **явление термоэлектронной эмиссии**. Дают определение и краткое описание явления. Для создания образа явления используют мультипликацию.

Далее изучают устройство демонстрационной электронной лампы-диода. Можно решить задачу, чтобы рассмотреть принцип работы лампы.

Почему разряжается положительно заряженный электрометр (рис. 223)?

Ответ. На анод лампы попадают электроны с катода и разряжают электрометр, поэтому и делается **вывод** о том, что свободными зарядами являются электроны.

При включении цепи накала практически сразу же начинается разрядка электрометра. *Вопрос:* что можно сказать о скорости движения электронов в лампе по сравнению со скоростью движения свободных электронов в металле? (Ответ. Она во много раз больше.)

На опыте выявляют зависимость концентрации эмитирующих электронов от температуры накала нити. Обсуждение результатов организуется в ходе беседы по вопросам.

Каковы же свойства электрического тока в вакууме — следующая *учебная проблема* урока. Демонстрируют *опыт* (рис. 224) по получению вольт-амперной характеристики. Оборудование: лампа-диод, гальванометр от амперметра с реостатом на 6 Ом в качестве шунта, вольтметр демонстрационный с дополнительным сопротивлением 33 кОм (или авометр), ВУП-2, BC-4-12, провода.

При постановке опыта учитель обращает внимание на качественную сторону дела.

III. Примеры задач для самостоятельной работы.

1. Определите скорость электронов, с которой они достигают анода, если напряжение между электродами 100 В.

Краткое решение.

$$\frac{mv^2}{2} = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}, \quad v = 6 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

2. Сравните концентрацию электронов в металле и вакууме при одинаковой силе тока. Скорости электронов примите равными соответственно 10^{-4} и 10^6 м/с.

Краткое решение. Для металла $I = en_1Sv_1$.

Для вакуума $I = en_2Sv_2$.

Равенство правых частей уравнений приводит к следующему результату:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \frac{n_2}{n_1} \approx 10^{-10}.$$

IV. Домашнее задание: § 118; индивидуально — задача.

В телевизионном кинескопе ускоряющее анодное напряжение равно 20 кВ. За какое время электроны достигают экрана, если расстояние между анодом и экраном равно 30 см? Как они при этом движутся?

Урок 9*. Применение тока в вакууме

Задачи урока: продолжить формирование ранее введённых понятий и представлений при изучении прикладных вопросов.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение изученного материала	7—10	Фронтальный опрос. Решение задачи
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Демонстрация опытов
III. Подведение итогов урока	10—15	Демонстрация. Рассказ. Беседа
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Фронтально обсуждаются *вопросы*: от чего зависит сила тока, проходящего через лампу? Выполняется ли закон Ома на участке цепи с лампой-диодом? Как доказать, что скорость движения электронов в лампе значительно больше скорости электронов проводимости в проводнике? Может ли ток в вакууме создаваться потоком ионов? Чем отличается постоянный ток в вакууме от тока в полупроводнике?

Решают задачу на повторение: упр. на с. 407 (4).

II. Изучение нового материала можно начать с краткого сообщения ученика об устройстве и истории применения электронной лампы.

Далее, используя открытую модель электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), учитель кратко излагает материал об устройстве ЭЛТ. В вакуумных лампах ток представляет собой потоки электронов, движущиеся с большой скоростью. Эти потоки, названные электронными пучками, получили широкое применение. Рассматривают их свойства на примере ЭЛТ: вакуум в стеклянном баллоне, катод в виде узкого цилиндра, внутри которого находится нить накала, эмиссия электронов, ускорение электронов полем и фокусировка пучка, управление потоком электронов с помощью электрических полей, созданных между вертикальными и горизонтальными пластинами, попадание электронного пучка на экран и свечение последнего.

Принцип работы ЭЛТ изучают методом беседы с постановкой эксперимента. *Вопросы для организации беседы:* почему светится экран? Изменится ли положение светящегося пятна, если к нему поднести магнит? Почему? (Отсюда вывод о возможности магнитного управления.) Как отклонится светящееся пятно (электронный пучок), если на горизонтальные (вертикальные) пластины подать от выпрямителя ВУП-2 постоянное напряжение? (Отмечается, где «+», где «-».) Почему изменяются результаты опыта, если использовать выпрямитель В-24М? Рядом с экраном ЭЛТ располагают катушку (от прибора для демонстрации магнитного поля кругового тока), пропускают по ней ток от выпрямителя ВС-4-12. Как и почему отклоняется электронный луч? Как быстро он отклоняется? Что изменится на экране ЭЛТ, если увеличить подаваемое напряжение?

Свойства пучков записывают в тетрадь, обобщая всё то, что наблюдали в эксперименте. В частности, выделяют прямолинейное распространение электронных пучков, их отклонение в полях, свечение экрана под действием электронов, высокие скорость и энергию движения электронов. В заключение обращают внимание на применение ЭЛТ в осциллографе, показывают осциллограмму выпрямленного диодом переменного тока.

III. В начале закрепления материала можно решить ещё две или три качественные задачи.

1. Определите, что находится в закрытой коробке. (Ответ. Магнит.) Какова полярность его полюсов?
2. Чему равно напряжение между пластинами ЭЛТ, если за время движения в поле электроны отклоняются на 1 мм? Длина каждой пластины равна 2 см, расстояние между ними равно 1 см, скорость электронов равна 10^7 м/с.
3. Упр. на с. 407—408 (13).

В ходе беседы с классом следует повторить принцип управления электронными пучками. Свойства тока в вакууме обсуждаются по *вопросам*: каковы носители тока в вакууме? Каков характер их движения? (Ответ. Прямолинейное, ускоренное.)

В чём причина такого движения? (Ответ. Действие поля.) Можно ли определить силу, действующую со стороны поля на электроны? Какими законами можно описать постоянный ток в ЭЛТ? Почему ЭЛТ получила широкое распространение?

IV. Домашнее задание: § 118; П., № 572.

Урок 10. Электрический ток в расплавах и растворах электролитов

Задачи урока: изучить механизм образования свободных зарядов в расплавах и растворах электролитов; исследовать зависимость сопротивления электролита от температуры; познакомить школьников с применением электролиза в технике; рассмотреть границы применимости закона Ома для электрического тока в электролитах; продолжить формирование умений наблюдать и анализировать физические явления.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Беседа по вопросам
II. Совершенствование знаний и умений	20—25	Демонстрация опытов. Беседа. Решение задач
III. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Рассказ следует логике учебника: электролитическая диссоциация, электролиз, применение электролиза в промышленности. В беседе обсуждают *вопросы*: какой процесс называется электролитической диссоциацией? В чём он состоит? Можно ли

сказать, что вода играет роль ионизатора в случае электрического тока в электролите? Как образуются свободные заряды в растворах и расплавах электролитов? Какие процессы протекают в растворе электролита под действием постоянного электрического поля? От чего зависит процесс электролиза? Какой процесс называют рафинированием меди?

II. Закрепление изученного начинают с работы над рисунками, раскрывающими процесс электролитической диссоциации. На рисунке 225, а, б,

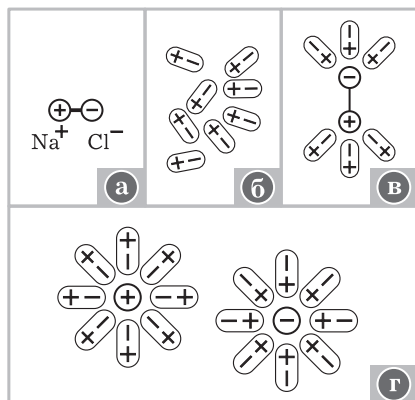


Рис. 225

в, г изображены диполь молекулы поваренной соли, диполи молекул воды, процесс образования свободных зарядов (сольваты) в воде. Рисунки выполняют в тетрадах.

Далее организуют выполнение экспериментальных заданий.

1. Объясните, почему при погружении электродов в один стакан с жидкостью лампочка загорается, а при погружении в другой нет. Оборудование: два стакана — один с дистиллированной водой, другой с подсоленной, два электрода, лампочка, источник тока. Опыт можно поставить с переменным током в осветительной сети и соответствующей лампочкой, можно и с постоянным током от выпрямителя В-24М.

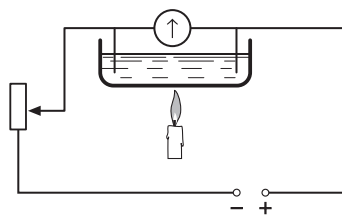


Рис. 226

2. Объясните, что произойдёт с показаниями гальванометра при нагревании раствора медного купороса (рис. 226). Почему? Оборудование: гальванометр от демонстрационного амперметра, реостат на 500 Ом, 50 мл 5-процентного раствора медного купороса в химическом стакане, медные электроды из набора Горячкина, спиртовка или электроплитка, выпрямитель ВС-4-12. (Ответ. При повышении температуры возрастает степень диссоциации раствора и уменьшается его вязкость. Оба фактора приводят к уменьшению сопротивления электролита при нагревании.)

3. Исследуйте, как зависит сила тока в растворе электролита, а также количество меди, выделяемое на электроде, от увеличения напряжения на электродах, увеличения концентрации раствора, сближения электродов, большего погружения электродов. Оборудование то же, что и в предыдущем опыте. О количестве выделяющейся меди судят по показаниям гальванометра. Результаты решения двух последних задач записывают в тетради, где перечисляют также случаи применения электролиза.

Затем коллективно разбирают вопросы учебника.

Учитель может предложить и такие *вопросы*: до каких пор будет продолжаться процесс электролиза медного купороса, если взяты угольные электроды? медные электроды? Как к угольному стержню прикрепить медную проволоку, обеспечив надёжный электрический контакт? Почему нельзя прикасаться голыми руками к неизолированным электрическим проводам?

III. Домашнее задание: § 119.

Урок 11. Закон электролиза Фарадея

Задачи урока: ввести закон электролиза; дать понятие «электрохимический эквивалент»; выяснить причинно-следственные связи при изучении явлений; продолжить формирование умения решать задачи.

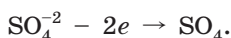
План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Вводная часть	3	Сообщение учителя
II. Изучение нового материала	20	Беседа с классом. Рассказ учителя. Записи в тетрадях. Работа с учебником
III. Совершенствование знаний и умений	15—20	Решение задач
IV. Подведение итогов урока. Домашнее задание	2—5	Запись на доске

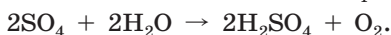
I. В начале урока учитель говорит о необходимости перехода от качественного описания явления электролиза к количественным закономерностям.

II. Особенность изучения нового материала состоит в том, что закон Фарадея выводится на основе электронной теории, т. е. одновременно с выводом идёт повторение материала предыдущего урока. Обязательно выявляется зависимость электрохимического эквивалента вещества от молярной массы вещества и валентности химического элемента.

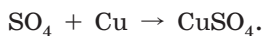
В качестве *дополнительного материала* полезно рассмотреть процесс электролиза на аноде. Например, на аноде нейтрализуются ионы кислотного остатка:



Химически кислотный остаток SO_4 очень активен и вступает во вторичную реакцию. Если анод изготовлен из химически малоактивного металла (платина, никель), то SO_4 реагирует с водой:



Отсюда нетрудно понять, что кислород выделяется в виде пузырьков на аноде. Если же анод медный, то нейтральный радикал активнее вступает в реакцию с медью, чем с водой. Поэтому вторичная реакция идёт с материалом анода:



Образовавшаяся молекула медного купороса переходит в раствор. Таким образом, в ходе электролиза происходит растворение анода, а в случае если в ванне находится раствор медного купороса, концентрация его не меняется.

Последний пример имеет важное прикладное значение: указывает на условия получения чистой меди, так как она оседает на катоде.

III. Далее решают задачи по определению массы вещества, выделившегося на электроде, нахождению силы тока в электролитической ванне. Одна задача решается коллективно, а

две другие — самостоятельно с последующим обсуждением в классе.

IV. Домашнее задание: § 119; упр. на с. 407—408 (8, 9).

Урок 12*. Заряд электрона. Решение задач (резерв учителя)

Задачи урока: сформировать умение применять закономерности электролиза для расчёта элементарного электрического заряда, электрохимического эквивалента вещества, затраченной электроэнергии.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение материала предыдущего урока	10	Работа ученика у доски. Анализ и дополнения ответа
II. Вывод формулы для расчёта заряда электрона	5	Самостоятельная работа в тетрадах
III. Решение расчётных и качественных задач	25—30	Работа с дидактическим материалом
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—5	Сообщение учителя

I. Вызванный к доске ученик записывает вывод закона Фарадея. В это время класс без помощи учителя решает задачу.

Вычислите электрохимический эквивалент серебра.

Валентность серебра и его молярную массу ученики должны уметь определить по периодической таблице элементов Д. И. Менделеева. После решения этой задачи ученики слушают рассказ у доски и делают дополнения.

II. Далее учитель ставит *учебную задачу*: используя записи, приведённые на доске, самостоятельно получите формулу для расчёта заряда электрона. По окончании работы обсуждают *вопросы*: зависит ли заряд электрона от величин, стоящих в правой части формулы (16.9) учебника? Какие величины необходимо измерить для определения заряда электрона по формуле (16.9)? Какие приборы для этой цели нужно использовать? Как рассчитать элементарный заряд, не проводя никаких измерений? Чем различаются заряды электрона и ионов натрия, меди, хлора?

III. Целесообразно решить несколько типичных задач, например П., № 576—578. Учитель также может использовать задачи и вопросы разной степени сложности.

IV. По результатам самостоятельной работы учащихся (решение задач), которая выборочно проверяется учителем по ходу урока, выставляются оценки.

Домашнее задание: П., № 579.

Урок 13. Электрический ток в газах

Задачи урока: изучить явления, связанные с несамостоятельной и самостоятельной проводимостью газов; познакомить школьников с механизмом образования свободных зарядов в газе; рассмотреть типы разрядов и их свойства.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение: план урока. Постановка учебной проблемы	2—3	Сообщение учителя
II. Изучение нового материала	25—30	Рассказ. Демонстрация опытов. Беседа
III. Решение задач	10—15	Решение задачи у доски
IV. Домашнее задание	1—2	Сообщение учителя

I. Мы живём на дне воздушного океана. Окружающие нас физические явления происходят в воздухе. В атмосфере мы наблюдаем немало интересных электрических явлений, таких, как разделение электрических зарядов между облаками или облаком и землёй; электрические токи при любой погоде; наиболее яркое, но опасное явление — молнию и др. Поэтому очень важно изучить, каким образом в газах существует электрический ток.

II. Газы состоят из нейтральных молекул, поэтому в обычных условиях они являются хорошими изоляторами. Вот почему мы имеем возможность использовать воздушные выключатели (демонстрация опыта).

Ставят опыт (рис. 227). Обсуждают *вопросы*: почему разряжается электрометр? Происходит ли перенос зарядов с одной пластины конденсатора на другую? Будет ли происходить разрядка электрометра, если убрать спичку (спиртовку)? Какую роль играет пламя? Были ли свободные заряды в пространстве между пластинами до внесения пламени? (О т в е т. Нет или были в очень малой концентрации, порядка 10^9 частиц в 1 м^3 .) Как это доказать? Что происходит с молекулами воздуха при нагревании его пламенем свечи? (О т в е т. Происходит ионизация газа.)

Ионизация может осуществляться и другими способами. **Вывод:** есть ионизация, следовательно, есть свободные заряды и есть электрический ток. Если ионизатор убрать, то новых ионов не образуется, а те, которые есть, достигнут электродов или рекомбинируют.

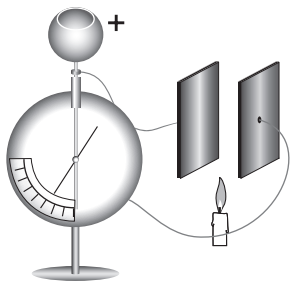


Рис. 227

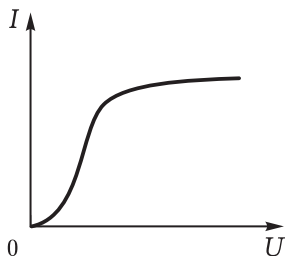


Рис. 228

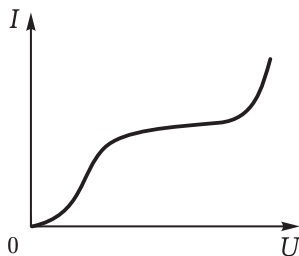


Рис. 229

Вольт-амперная характеристика самостоятельного (с помощью ионизатора) разряда показана на рисунке 228. *Вопросы для организации беседы:* что сначала происходит с силой тока при увеличении напряжения? Почему? О чём говорит горизонтальная часть графика?

При определённом напряжении сила тока вновь начинает увеличиваться (рис. 229). Почему это возможно при неизменной мощности ионизатора? При высоком напряжении на электроны и ионы действует большая сила. К чему это приводит? Может ли электрон, находящийся в сильном электрическом поле, ионизовать молекулу? Нужен ли в таком случае при таком напряжении ионизатор? Что становится ионизатором? (Ответ. Быстрые электроны.)

По учебнику школьники ищут ответы на *вопросы:* почему при большом напряжении число зарядов лавинообразно возрастает? Какую роль играют положительные ионы в существовании самостоятельного разряда?

Таблица 40

Условия	Тип разряда			
	Тлеющий разряд	Дуга	Искра	Коронный разряд
Состояние газа	Разреженный газ	Воздух	Воздух	Воздух
Положение электродов	Десятки сантиметров	Несколько сантиметров	Разное	Острый электрод
Напряжение	Десятки, сотни вольт	Десятки вольт	Тысячи и миллионы вольт	Тысячи и более вольт
Сила тока	Несколько миллиампер	Десятки, сотни ампер	До сотен тысяч ампер	Малые доли ампера

Типы самостоятельного разряда изучают по таблице 40. Таблицу вычерчивают в тетради. Одновременно демонстрируют опыты, используют рисунки, приводят примеры. Искровой разряд показывают с помощью электрофорной машины или прибора «Разряд-1». Определяют вид, время разряда, наблюдают пробивание малых отверстий в бумаге и пр. Электрическую дугу можно показать в воде (ДЭ, опыт 144). Тлеющий разряд демонстрируют с помощью газоразрядных трубок с неоном или гелием. Прямо от прибора «Разряд-1» подсоединяют проводники к электродам трубки.

III. Разбирают несколько *вопросов* на закрепление основных представлений об электрическом токе в газе: в каком случае в ионизаторе образуется большее количество ионов (рис. 230)? По вольт-амперной характеристике определите: до какого напряжения в газе был несамостоятельный разряд (рис. 231); при каком напряжении установился ток насыщения; при каком напряжении возник самостоятельный разряд; в каком случае выполняется для газа закон Ома; чему равно сопротивление газа для указанных напряжений.

IV. Домашнее задание: § 120; упр. на с. 407—408 (12); П., № 584.

Индивидуально предлагают *вопрос*: сколько стоит молния? (Перельман Я. И. Занимательная физика. — М.: Наука, 1982. — Кн. 2. — С. 171.)

Урок 14*. Совершенствование знаний и умений

I. *Вопросы для повторения*: какое явление называют несамостоятельным газовым разрядом? Каков механизм образования свободных зарядов? Как образуются свободные заряды при самостоятельном разряде? Какие заряды являются носителями тока в случае возникновения искры? в других случаях? Почему для силы тока в газах невыполним закон Ома? Как выглядит опыт по разрядке электрометра? (Ученик повторяет демонстрацию.)

II. Подобные вопросы можно задать и при решении количественных задач, поэтому рекомендуем сразу приступить к делу. Задачи можно подобрать и из школьных задачников.

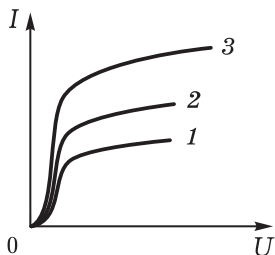


Рис. 230

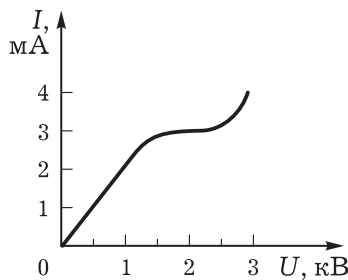


Рис. 231

1. Чему равна сила тока насыщения при несамостоятельном газовом разряде, если ионизатор образует каждую секунду 10^9 пар ионов в 1 см^3 ? Площадь каждого электрода равна 100 см^2 , расстояние между ними 5 см .
2. Плоский конденсатор подключён к источнику тока напряжением 6 кВ . При каком максимальном расстоянии между пластинами возникнет разряд, если ударная ионизация воздуха начинается при напряжённости электрического поля 3 МВ/м ?

III. Лучше всего решить несколько качественных экспериментальных задач, например такую:

Объясните, почему разряжается электрометр, если к его кондуктору поднести спичку (демонстрируется опыт).

Вопросы: почему электрометр в обычном воздухе медленно разряжается? Быстрее ли будет разряжаться электрометр, если на него подуть?

Желательно решить задачу на использование вольт-амперной характеристики. Можно показать видеофильм.

IV. Самостоятельная работа по вариантам.

V. Домашнее задание: П., № 582, 586. Индивидуально — реферат об устройстве и принципе действия энергосберегающей лампы.

Урок 15*. Плазма. Практическое использование плазмы

Задачи урока: дать понятие о плазме, её свойствах и применении; продолжать формирование умения объяснять электрический ток в газе на основе электронных представлений.

План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Совершенствование знаний и умений	15—20	Решение задач у доски. Письменное решение задач по карточкам. Беседа
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ. Демонстрация опытов, таблицы. Беседа
III. Подведение итогов. Домашнее задание	3—5	Сообщение учителя

I. С целью повторения материала разбирают несколько *вопросов*: какие процессы обеспечивают устойчивость дугового разряда при сварке? Почему провода линии высокого напряжения не покрыты изолирующей оболочкой?

Затем решают задачу.

Определите напряжённость электрического поля, при которой может произойти ионизация молекул воздуха. Энергия ионизации молекул воздуха $W_{\text{и}} = 15 \text{ эВ}$, длина свободного пробега электрона при нормальном давлении равна $5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$.

По ходу решения задачи рекомендуем обсудить следующие *вопросы*: какие явления происходят в межэлектродном промежутке? (Ответ. Сначала потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию движения электрона, а затем при накоплении энергии до 15 эВ и взаимодействии электрона с молекулой происходит ионизация нейтральной молекулы.) Как описать количественно данные превращения энергии? (Ответ. $eEd = W_{и.}$.) Почему при пониженном давлении газа ионизация электронным ударом происходит при более низком напряжении? Что произойдёт с электрической дугой, если сильно охладить отрицательный электрод? положительный электрод? Какие физические явления лежат в основе дуговой сварки? Какой вред наносят искры и электрическая дуга контактам выключателя? Какие способы устранения этого явления можно предложить?

Для демонстрации этого явления предварительно собирают электрическую цепь из источника тока, катушки и ключа. В качестве катушки используют дроссельную катушку с замкнутым сердечником. Наблюдают образование искры при размыкании ключа. Затем к клеммам ключа подсоединяют батарею конденсаторов на 0—58 мкФ. Отмеченное явление исчезает, так как ещё до образования искры происходит зарядка батареи конденсаторов, тем самым напряжение между контактами разомкнутого ключа значительно понижается.

II. Рассказ учителя должен быть кратким. Закрепление изученного материала организуется при обсуждении *вопросов*: из каких частиц состоит плазма? Как получить плазму? Плазму с какой температурой получают в земных условиях? (Ответ. До 10^7 К.) От чего зависит степень ионизации плазмы? Как плазма проводит электрический ток? Как на Земле удерживают высокотемпературную плазму? Каково значение плазмы?

Беседа продолжается при постановке опытов. Для демонстрации подбирают простые *опыты*: а) зажжённая спичка (газ около неё является плазмой, поэтому электрометр разряжается; см. рис. 227); б) лампа дневного света; в) газ в баллоне неоновой лампы. О применении плазмы может быть запланировано краткое выступление школьника.

III. Подведение итогов по вопросам учителя.

Примечание. Данный урок может быть проведён как конференция. Для этого несколько учеников готовят демонстрации; один из школьников выступает с обзором литературы, другой докладывает о применении плазмы в технике.

Домашнее задание: § 121*; П., № 585.

Урок 16. Повторительно-обобщающий урок

Домашнее задание: § 122*; упр. на с. 407—408 (1, 2, 11).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Технологии обучения и творчество учителя (вместо введения)	4
Об электронной форме учебника	7
Тематическое планирование	8
 Часть I. МЕХАНИКА	 10
Глава I. КИНЕМАТИКА	11
Глава II. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА	26
Глава III. ЗАКОНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕХАНИКЕ	53
Глава IV*. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ДИНАМИКИ (практикум по решению задач)	74
Глава V. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА	84
Глава VI. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ	90
Глава VII. ДИНАМИКА АБСОЛЮТНО ТВЁРДОГО ТЕЛА	99
 Часть II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА	 110
Глава VIII. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ	110
Глава IX. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА	129
Глава X. СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА В ТВЁРДОМ, ЖИДКОМ И ГАЗООБРАЗНОМ СОСТОЯНИЯХ	141
Глава XI. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ	156
 Часть III. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	 191
Глава XII. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	191
Глава XIII. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	228
Глава XIV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ	242