

Ю. А. Сауров

# ФИЗИКА

# 11

класс

БАЗОВЫЙ И УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВНИ

Классический курс. Поурочные разработки  
к учебнику Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева,  
В. М. Чаругина

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 собой единство содержания физического материала и приёмов организации процесса обучения. В пособии приводится широкий набор методических средств: экспериментальные задачи, опорные конспекты, новые варианты изложения теории, различные опыты и демонстрации, а также богатый иллюстративный материал. Книга поможет учителю в организации учебного процесса на уроках физики в 11 классе при преподавании по классическому курсу авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, В. М. Чаругина под редакцией Н. А. Парфентьевой.

У ч е б н о е   и з д а н и е

**Сауров Юрий Аркадьевич**

**Физика**

**11 класс**

БАЗОВЫЙ И УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВНИ

Классический курс. Поурочные разработки к учебнику  
Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, В. М. Чаругина

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](mailto:vopros@prosv.ru).

**ISBN 978-5-09-103021-1**

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

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Основная цель предлагаемой книги — оказать помощь учителю физики в ежедневной подготовке к уроку. Система моделей уроков является определённой технологией построения (проектирования) учебного процесса. Каждая модель урока конкретна. Границы её применимости определяются опытом учителя, условиями данной школы и класса. Пособие представляет собой методику построения учебного процесса при использовании нового издания классического учебника авторов Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева, В. М. Чаругина. Предлагаемая методика поможет учителю эффективно использовать учебник при базовой нагрузке 2 ч в неделю и при углублённом изучении (уроки со звёздочкой) до 5 ч в неделю. При построении книги автор пытался аккумулировать и реализовать современные представления об усвоении научных знаний.

Методика построения учебного процесса в форме системы моделей уроков состоит из общих рекомендаций по тематическому планированию, построению урока в целом и применению конкретных методических средств для организации учебной деятельности школьников.

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, 2014.

- **Ф-11:** Мякишев Г. Я. Физика. 11 кл.: учеб. для общеобразоват. организаций / [Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин]; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М.: Просвещение, 2014.

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

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

• **ДЭ-2:** Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе: пособие для учителя. В 2 ч. / под ред. А. А. Покровского. — М.: Просвещение, 1979. — Ч. 2.

• **ФЭ-1:** Шахмаев Н. М. Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика / Н. М. Шахмаев, В. Ф. Шилов. — М.: Просвещение, 1989.

• **ФЭ-2:** Шахмаев Н. М. Физический эксперимент в средней школе: Колебания и волны. Квантовая физика / Н. М. Шахмаев, Н. М. Павлов, В. И. Тыщук. — М.: Просвещение, 1991.

**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.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ МЫШЛЕНИЯ И МИРОВОЗЗРЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ В СТАРШЕЙ ШКОЛЕ (вместо введения)**

В обучении физике мы используем выработанные наукой (культурой) понятия, но мыслительные процессы, «зафиксированные» в них, должны быть приняты и усвоены школьниками. В общих чертах формирование теоретического понятия начинается с его введения путём перехода от материальных объектов (в предметно-чувственной деятельности) к абстрактному мысленному их образу. Далее следует организация движения мысли от абстрактного к конкретному, т. е. к установлению единства в многообразии. Наконец, на определённом этапе в ходе осмысления пройденного (рефлексии) следует синтез представлений. Затем ход мысленного движения повторяется. Полноценное формирование понятий приводит к развитию теоретического отношения к действительности, т. е. способности ориентироваться в выработанной культурой системе знаний. Школьники способны использовать абстрактные понятия науки для объяснения и преобразования конкретных явлений действительности. Важно и то, что они имеют возможность развивать науку дальше.

Обратимся к самым существенным сторонам процесса формирования мышления и мировоззрения школьников при обучении физике.

При изучении физики школьник сталкивается с двумя разными мирами — с миром реальных природных явлений и миром представлений науки, т. е. с миром теоретических понятий. Не перепутать эти миры, не отождествить мир природы с миром знаний — сложная задача. Именно поэтому так важно следовать методологии познания физических явлений. В зависимости от задачи она может иметь разное, хотя и близкое по духу, логическое выражение:



• а) выделение и определение изучаемого объекта, изучение его свойств; б) построение модели объекта, введение характеристик его свойств — физических величин; в) рассмотрение взаимодействия и движения объектов; г) выбор модели или механизма взаимодействия, определение средств описания движения — законов; д) применение законов объектов и явлений на практике и т. д.;

• изучение содержания по схеме: факты — модель — следствия — эксперимент;

• выделение физического явления — его описание различными средствами (моделями, физическими величинами, законами и др.) — применение знаний.

Наверное, самым существенным при формировании теоретического отношения к действительности является **выделение и фиксирование в деятельности исходных оснований**, причин класса явлений или объектов. В физике исходные основания зафиксированы в фундаментальных понятиях и идеях о взаимодействии, симметрии, сохранении, структуре, непрерывности и дискретности, принципах относительности, близкодействия, дополнителности, соответствия, динамической и статистической причинности. Вот почему, в частности в обучении, так важны структурно-логические схемы систематизации материала.

Школьник всё равно, изучая природу, усваивает науку. Правда, он изучает природу, «глядя глазом науки», т. е. факты для изучения создаются деятельностью человека. Вот почему так важно при введении понятий обеспечивать **наглядность**. А она связана не только с чувственно-предметной деятельностью школьников, но и с использованием различных моделей как опор для мышления и памяти, схем организации знаний, т. е. с усвоением норм культуры. Экспериментирование в любом виде, чёткая логика рассказа, выверенная система вопросов и ответов — всё это средства для достижения наглядности и доступности теоретического материала. Кроме того, важно учитывать, что ход мыслей не установится с одного раза, — усвоение теоретических понятий требует многократного (не менее 6—7 раз) повторения в разных ситуациях.

Специфическая особенность теоретического мышления — наличие у человека **рефлексии**, т. е. осознания своих собственных действий, определения статуса усваиваемых знаний, оценивания границ применимости представлений, понимания ограниченности, модельности знаний. Школьники должны понимать, чем отличается факт от гипотезы, объект от модели, закон от теории. Рефлексия не только свойство современного мышления, но и характерная черта деятельности и мировоззрения человека в целом. Потребность в рефлексии доводится до постоянного внутреннего диалога с самим собой: «а так ли это...»; «а что будет, если...»; «вот аргументы против»; «нет, есть альтернативы...».

Теоретическое мышление характеризуется наличием **внутреннего плана мысленных действий**. Умение планировать (проектировать) свою деятельность (а это всегда мыслительный процесс) — фундаментальное качество современного человека. При обучении физике через выполнение таких внешних действий, как составление плана-конспекта, построение и использование логических схем, выделение этапов решения задач, во-первых, постепенно происходит овладение ими во внутреннем плане; во-вторых, при усвоении материала данные ориентировки управляют мыслительными процессами. Не случайно это учтено в известной схеме формирования понятий и умственных действий: а) сначала происходит предварительное ознакомление с конечным результатом деятельности, её целью или предназначением, создаётся мотивация; б) затем идёт усвоение указаний и ориентиров действий разного уровня обобщённости (от примеров до методологических сведений); в) далее следует формирование умственных действий или понятий в устной речи; г) на последнем этапе происходит формирование понятий в речи про себя, в собственно умственном плане.

Интегральной характеристикой теоретического мышления является его стиль, т. е. нормы научного подхода к исследованию (познанию) и его результатам. Но в **современном стиле мышления** фиксируются и важнейшие черты мировоззрения: а) **научный рационализм**, выраженный в признании объективности и познаваемости мира; б) признание **динамического развития мира**; в) **системный подход** в познании объектов и явлений; г) **множественность описания явлений** (языки, модели), последовательное приближение к истине; д) **ограниченность** знания, приближённость эмпирического знания. Современный стиль мышления в физике определяется прежде всего ведущей идеей о взаимосвязи, взаимодействии физических объектов. Взаимодействие является исходной причиной строения, движения и изменения всех физических объектов. Характерным для современной науки является также признание наряду с однозначной динамической закономерностью статистической закономерности.

В методическом знании стиль мышления находит отражение в организации работы со школьной учебной физической задачей. Важно, чтобы всё это в процессе работы превращало предметную физическую задачу в учебную задачу. Основные требования такие: а) отношение к задаче как к объекту изучения и исследования; б) общая структура решения задачи как методологическая ориентировка; в) творчество школьников при работе с задачей; г) разнообразие задач и видов деятельности при их решении.

Творческая деятельность школьников при любой работе на уроке и дома, но особенно при экспериментировании, — залог успехов в развитии их интеллекта, в формировании интереса к предмету.

В содержание курса физики 11 класса входят основы современной физики. При изучении электродинамики нестационарных процессов, специальной теории относительности, квантовой физики всегда можно обратить внимание школьников на те или иные **вопросы научного познания**. Роль гипотезы, примеры выдвижения гипотез известными физиками, процесс доказательства предположений, моделирование как метод познания, взаимосвязь теории и эксперимента в физике, различные средства описания объектов и явлений, границы применимости любого знания — вот далеко не полный перечень вопросов, которые необходимо ставить и обсуждать на уроках.

Чёткая мировоззренческая и методологическая позиция учителя, ориентирование школьников на познание физических объектов и явлений разными средствами, использование хрестоматийного материала, организация активной мыслительной деятельности самих школьников — залог продвижения в формировании мышления и мировоззрения на уроках физики. Предлагаемая ниже система моделей уроков даёт материал, который может и должен помочь в этом.

## 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
		<b>Основы электродинамики (продолжение)</b>	<b>2 / 3</b>	<b>2 / 3</b>	<b>11 / 18</b>
1—6	1—9	Магнитное поле	1 / 1	1 / 1	6 / 9
7—11	10—18	Электромагнитная индукция	1 / 2	1 / 2	5 / 9
		<b>Колебания и волны</b>	<b>1 / 4</b>	<b>2 / 5</b>	<b>19 / 42</b>
12—15	19—25	Механические колебания	1 / 1	1 / 1	4 / 7
16—20	26—41	Электромагнитные колебания	— / 1	1 / 2	5 / 16
21—23	42—49	Механические волны	— / 1	— / 1	3 / 8
24—28	50—60	Электромагнитные волны	— / 1	— / 1	5 / 11
		<b>Оптика</b>	<b>4 / 5</b>	<b>1 / 4</b>	<b>15 / 30</b>
29—33	61—69	Геометрическая оптика	2 / 2	— / 1	5 / 9
34—39	70—81	Световые волны	1 / 3	1 / 1	6 / 12

40—41	82—85	Элементы СТО	- / -	- / 1	2 / 4
42—43	86—90	Излучения и спектры	- / -	- / 1	2 / 5
		<b>Квантовая физика</b>	<b>1 / 2</b>	<b>1 / 3</b>	<b>18 / 41</b>
44—47	91—100	Световые кванты	- / 1	1 / 1	4 / 10
48—51	101—110	Атомная физика	1 / 1	- / 1	4 / 10
52—59	111—126	Физика атомного ядра	- / 1	- / 2	8 / 16
60—61	127—131	Элементарные частицы	- / -	- / 1	2 / 5
		<b>Основы астрономии</b>	- / -	- / 1	<b>6 / 9</b>
62—63	132—134	Солнечная система	- / -	- / -	2 / 3
64—65	135—137	Солнце и звезды	- / -	-	2 / 3
66—67	138—140	Строение Вселенной	- / -	- / 1	2 / 3
68	141—142	Современная физическая картина мира	- / -	- / 1	1 / 2
69—70	143—175	<b>Резерв / Резерв: практикум по решению задач и выполнению экспериментальных исследований</b>	- / 5	- / 3	2 / 32
		<b>Всего за 11 класс</b>	<b>8 / 20</b>	<b>6 / 19</b>	<b>70 / 175</b>

# Часть I.

## ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

### (продолжение)

В начале 11 класса в двух темах продолжается изучение классической электродинамики. Но у школьников не должно сложиться представление, что после этого они завершают знакомство с её понятиями и закономерностями. В методике обучения физике вопросы из разных тем, вплоть до специальной теории относительности, включают в электродинамику как фундаментальную теорию. Однако некоторые части электродинамики, например оптика, стали весьма обширными и превратились в самостоятельные разделы со своими особенностями. На единство электромагнитных явлений нужно постоянно обращать внимание учащихся.

## Глава I. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

На изучение темы в рамках разных программ отводят от 6 до 14 ч, при углублённом изучении — до 24 ч учебного времени. Тема небольшая, поэтому нет необходимости делить её на части. Реально выделяют два главных вопроса — магнитное поле и практическое применение магнитного поля электрического тока. Магнитные свойства вещества рассматривают кратко.

При изучении темы школьники знакомятся с новым (важнейшим) физическим объектом — магнитным полем, рассматривают новый вид физических явлений — электромагнитные явления. Необходимо дать определение этих явлений, привести их примеры, изучить явления на уровне эмпирического наблюдения, раскрыть их природу, связывая её с существованием электрических и магнитных полей. Мировоззренческий потенциал изучаемого материала заключается в логике познания нового физического объекта (выделение объектов природы, их описание средствами науки).

Магнитное поле сначала выделяют как материальный объект, существующий независимо от нас, выясняют его свойства, затем рассматривают средства его описания. При этом происходит усвоение логики и метода научного познания: факты — модель — следствия — практика, границы применимости знания.

## Урок 1. Взаимодействие токов. Магнитное поле

**Задачи урока:** ввести понятие о магнитном поле (физический объект, действие магнитного поля, источники); сформировать умение выделять магнитное поле по его действию; сформировать материалистические представления о магнитном поле (экс-

периментальное доказательство факта существования, свойства и др.).

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала: постановка учебной проблемы, явление взаимодействия токов, магнитное поле и его свойства	15—20	Эвристическая беседа. Рассказ учителя. Постановка опытов и обсуждение результатов
II. Отработка изученного материала	15—20	Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Повторение по вопросам. Запись на доске

I. Постановка учебной проблемы урока опирается на ранее изученное явление взаимодействия зарядов и на первичное знакомство с магнитным полем в базовом курсе физики. Фронтально обсуждаются *вопросы*: как взаимодействуют неподвижные электрические заряды? Каков механизм этого взаимодействия? Какие свойства электрического поля мы изучали? (О т в е т. Действие на пробный заряд, связь с зарядом — источником поля, непрерывность, неограниченность, отсутствие взаимодействия полей — их суперпозиция, потенциальность и др.) При повторении желательно использовать рисунки на доске, показать опыты по выделению свойств поля.

1. Первая *учебная проблема* формулируется с помощью следующих *вопросов*: взаимодействуют ли движущиеся заряды? Каков механизм этого взаимодействия?

Ставят известные *опыты* по взаимодействию параллельных проводников с током (ДЭ-1, с. 300). Обсуждают *вопросы*: можно ли объяснить отталкивание или притяжение проводников с током электрическим взаимодействием зарядов? Аргументируйте ответ. Каким по аналогии с электростатическим взаимодействием должен быть механизм взаимодействия проводников с током? (О т в е т. Первый проводник с током порождает магнитное поле, которое действует на второй проводник, и наоборот.)

2. Для объяснения взаимодействия токов учёными была высказана *гипотеза* о существовании особого физического объекта — **магнитного поля**. Следует повторить доказательство этого предположения.

а) Магнитное поле порождается электрическим током, действует на электрический ток и магнитную стрелку. При постановке простейших опытов обсуждают *вопросы*: почему второй проводник с током не отклоняется, если выключить ток в первом проводнике? (О т в е т. Нет магнитного поля, значит, нет и действия.) Будет ли действовать магнитное поле на проводник без тока?

б) Что может служить индикатором магнитного поля? (О т в е т. Электрический ток, магнитная стрелка.) По учебнику рассматривают поведение контура с током в магнитном поле.

Будет ли отклоняться магнитная стрелка вблизи проводника, если по нему пропускать электрический ток? Повторяют *опыт Эрстеда*. Обсуждают *вопросы*: действие какого объекта приводит к движению магнитной стрелки? (О т в е т. Магнитного поля.) Изменяется ли положение магнитной стрелки при включении тока? Аргументируйте ответ.

3. Каковы свойства магнитного поля тока — вторая *учебная проблема*. С помощью магнитной стрелки экспериментально выделяют: а) существование магнитного поля вокруг любого проводника с током; б) непрерывность и неограниченность магнитного поля; в) ослабление поля при удалении от проводника с током, зависимость свойств поля от силы и направления электрического тока.

Магнитные поля очень разнообразны. Для их подробного изучения надо ввести характеристику магнитного поля.

4. Какова основная характеристика магнитного поля — третья *учебная проблема* урока.

Свойства магнитного поля проще изучать и использовать, если удачно ввести характеристику поля — **вектор магнитной индукции  $\vec{B}$** .

Далее по учебнику вводят представление о направлении вектора  $\vec{B}$  в случае разных полей, а также представление о силовой линии как средстве описания магнитного поля, демонстрируют магнитные спектры разных полей (рис. 1.13—1.16 учебника).

II. Для отработки материала в основном используют **качественные и экспериментальные задачи**.

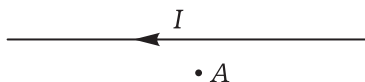


Рис. 1

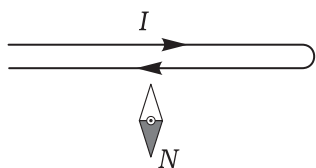


Рис. 2

1. По проводнику идёт ток так, как показано на рисунке 1. Докажите, что около точки A существует магнитное поле.
2. Выскажите гипотезы, как можно определить полюсы источника питания, если имеются набор проводников, реостат и компас.
3. Будет ли отклоняться магнитная стрелка вблизи проводника, по которому идёт электрический ток, если проводник согнут так, как показано на рисунке 2? Аргументируйте ответ.

III. *Итоги урока* подводят в виде краткого повторения: какой новый физический объект мы начали изучать? С каким новым видом физических явлений познакомились? (О т в е т. С электромагнитными явлениями. Например, это образование магнитного поля около проводника с электрическим током.) Как доказать,



что магнитное поле материально? Какое магнитное поле называют однородным? Что значит «вихревое» магнитное поле?

*Домашнее задание:* § 1; упр. на с. 10 (ЕГЭ); П., № 588, 589.

## Урок 2. Вектор магнитной индукции — основная характеристика магнитного поля

**Задачи урока:** повторить свойства магнитного поля и средства их описания — магнитные силовые линии, правило буравчика и др.; ввести понятие вектора магнитной индукции, изучить закон Ампера; сформировать умение характеризовать магнитное поле; познакомить с экспериментальным и теоретическим методами изучения магнитных полей.

### Ход урока

**I. Фронтально повторяют следующие вопросы:** каков механизм взаимодействия электрических токов? Каковы важнейшие свойства магнитного поля? Какое магнитное поле — постоянное или переменное — сложнее изучать? Какова основная характеристика магнитного поля по аналогии с электрическим? На основе какого действия поля она вводится?

**II. Основная учебная проблема** при рассмотрении нового материала: какие характеристики можно использовать для описания свойств магнитного поля?

1. Необходимо повторить и углубить представление о векторе магнитной индукции  $\vec{B}$ . Это векторная характеристика магнитного поля: она имеет направление и числовое значение. Что характеризует величину  $\vec{B}$ ? Что называют линией магнитной индукции? Для чего она вводится? Есть ли линии магнитной индукции в природе?

Далее изучают магнитные поля по картинкам линий магнитной индукции, отрабатывают **правило буравчика**. Приведём примеры заданий (рисунки выполнены на доске).

1. Известно направление линий магнитной индукции (рис. 3, 4). Укажите направление тока в проводнике.
2. Определите направление линий магнитного поля, используя правило буравчика (рис. 5). По расположению магнитных стрелок определите направление тока в проводнике (рис. 6).

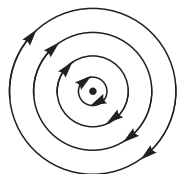


Рис. 3

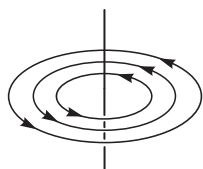


Рис. 4

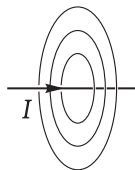


Рис. 5

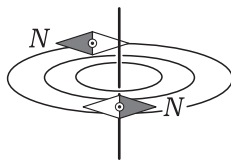


Рис. 6

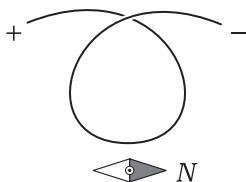


Рис. 7



Рис. 8

3. Как установится магнитная стрелка, если по проводнику пропустить постоянный электрический ток (рис. 7)? Определите полюсы источника питания, если магнитная стрелка около проводника ориентирована так, как показано на рисунке 8.

2. Далее нужно определить вектор магнитной индукции  $\vec{B}$ .

Демонстрируется (ДЭ-1, опыт 168) действие магнитного поля подковообразного магнита на проводник с током (элемент тока). *Вопросы* для организации беседы: зависит ли отклонение проводника с током (сила, действующая на проводник) от силы тока? Зависит ли отклонение провод-

ника с током от длины проводника? Зависит ли индукция магнитного поля от силы тока, от длины проводника? (О т в е т.

Нет, не зависит.) По учебнику (с. 12) формулируют **вывод**: от-

ношение  $\frac{F_m}{I\Delta l} = B$  можно принять за характеристику магнитного поля, так как оно не зависит ни от силы тока, ни от длины проводника.

3. В чём смысл закона Ампера? Нам известен экспериментальный факт: магнитное поле действует на проводник с током. В 1826 г. французский физик А. Ампер сформулировал закон, описывающий это действие магнитного поля. Закон представлен выражением  $F = B|I|\Delta l \sin \alpha$ . При этом направление силы определяется по правилу левой руки.

При объяснении материала важно сравнительно быстро ввести закон, а усвоение отрабатывать при решении задач.

4. У любой физической величины есть единица. Учитель даёт определение единицы индукции магнитного поля — теслы.

III. Для обработки знаний подбирают типичные з а д а ч и.

1. Модуль магнитной индукции поля Земли равен  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл. Какая сила действует на проводник длиной 100 м, если сила тока, идущего по нему, равна 10 А?

2. П., № 590—593.

IV. *Вопросы* для повторения: как доказать, что магнитное поле материально? Какие характеристики магнитного поля мы изучили? Для чего необходимо понятие о линиях магнитной индукции? Можно ли по виду магнитных линий сравнивать магнитные поля? Как формулируется правило буравчика? Для чего оно необходимо? Что определяет правило левой руки?

*Домашнее задание:* § 1—2; упр. на с. 16 (ЕГЭ).

### Урок 3. Лабораторная работа «Наблюдение действия магнитного поля на ток». Решение задач

Инструкция учебника к лабораторной работе достаточно полная. Поэтому следует обратить внимание учащихся лишь на форму отчёта: название работы, оборудование, краткая теория (изучаемый объект и явление, закон, рисунок), результаты работы в виде рисунков (направление обмотки, тока, линий магнитной индукции, силы Ампера), ответы на вопросы и решение задач.

Задачи: П., № 596, 597.

Домашнее задание: § 3\* (№ 1, 2); упр. на с. 18 (2).

### Урок 4\*. Применение закона Ампера

**Задачи урока:** изучить устройство и принцип действия прибора магнитоэлектрической системы, громкоговорителя; продолжить отработку знаний о магнитном поле и его характеристиках.

#### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Демонстрация опытов. Работа с учебником
II. Отработка изученного материала	15—20	Решение задач
III. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Фронтальное повторение. Запись на доске

I. Научные знания нужны для объяснения и предсказания физических явлений, для конструирования технических устройств. Знания о магнитном поле многое дали людям.

Учитель демонстрирует устройство и принцип действия демонстрационного гальванометра (амперметра и вольтметра). По рисунку 1.21 учебника задаёт *вопросы*: в каких участках прибора существует магнитное поле? Какой вид имеют полюсы постоянного магнита? Зачем они нужны? Поворачивается ли катушка (рис. 1.20, 1.21 учебника) на 90°? Как направлен ток в катушке при обозначенных силах (рис. 1.21 учебника)? Какой прибор — амперметр или вольтметр — изображён на рисунке 1.20 учебника? (О т в е т. Гальванометр. В зависимости от внутреннего сопротивления он может быть амперметром или вольтметром; это обеспечивается использованием шунтов и добавочных сопротивлений.)

Следует рассказ ученика о громкоговорителе. Дополнительно можно рассмотреть вопрос о защите от магнитных полей: экра-

нировка действия постоянного магнита на магнитную стрелку, на рамку с током (пример с рамкой гальванометра) и др.

II. Для самостоятельной работы рекомендуем использовать накопленный в кабинете физики дидактический материал.

III. Домашнее задание: § 2, 3\* (№ 1); упр. на с. 18 (1).

## Урок 5\*. Решение задач

Первая часть урока (20—25 мин) отводится на коллективное решение задач, вторая — на выполнение самостоятельной работы. Рассматривают пример решения задачи из учебника (с. 17, № 1).

Приведём примеры задач для самостоятельного решения.

1. Вектор индукции однородного магнитного поля направлен вертикально вверх. Как будет двигаться проводник с током в таком поле, если он расположен в нём перпендикулярно?

2. С какой максимальной силой может действовать однородное магнитное поле с индукцией 4 Тл на прямолинейный проводник длиной 10 см, если сила тока, идущего по нему, равна 10 А?

Домашнее задание: П., № 598; упр. на с. 19 (ЕГЭ, индивидуально).

## Урок 6. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца

**Задачи урока:** выделить и изучить новое физическое явление — действие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу; сформировать умение решать задачи на использование формулы для силы Лоренца.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний	7—10	Решение задач. Фронтальный опрос
II. Изучение нового материала: явление действия магнитного поля на заряженную частицу, закон этого действия. Применение знаний	15—20	Рассказ учителя. Демонстрация опытов. Работа с учебником
III. Отработка изученного материала	10—15	Решение задач
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Фронтальное повторение. Запись на доске

I. В начале урока необходима актуализация знаний о силе Ампера. Один из школьников решает типичную задачу на до-

ске. В это время организуют *фронтальный опрос* (возможен и диктант): какое физическое явление описывают силой Ампера? От чего зависит действие магнитного поля на ток? Что такое элемент тока? Как формулируется закон Ампера? Можно ли утверждать, что сила прямо пропорциональна вектору магнитной индукции? В каких случаях приведённая формула несправедлива? (О т в е т. Магнитное поле неоднородно, проводник длинный и непрямолинейный, ток непостоянный.)

II. Рекомендуем следующую организацию изучения нового материала.

1. Учитель ставит *учебную проблему*: определить силу, действующую со стороны магнитного поля на движущуюся заряженную частицу. (В учебнике именно так, а не просто на заряд, который может рассматриваться как модель.) Идея получения формулы для силы Лоренца такова: нам известен закон Ампера, но электрический ток — это движущиеся заряженные частицы, отсюда сила Лоренца — это сила Ампера, действующая на ток, образованный движением одной заряженной частицы. **З а д а н и е:** с помощью учебника получить формулу для силы Лоренца.

2. Коллективно выполняют *анализ полученной формулы* с помощью ответов на *вопросы*: как направлена сила Лоренца (рис. 1.29 учебника)? Меняет ли она скорость заряженной частицы (рис. 1.30 учебника)? При каком движении заряженной частицы в магнитном поле сила Лоренца максимальна?

3. Учитель демонстрирует действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы: к электронно-лучевой трубке (или к экрану осциллографа при выключенной развёртке) подносят магнит, наблюдают отклонение луча (возможно использование специальной установки — ФЭ-1, с. 173). *Вопросы* для организации беседы: что представляет собой электронный луч? Каково направление движения положительного заряда? Как расположено внешнее магнитное поле? Предположите, как будет отклоняться на экране след электронного луча.

4. О применении закона и выражения для силы Лоренца лучше рассказать учителю. При этом используют рисунки циклотрона и масс-спектрографа (рис. 1.31 и 1.32 учебника).

III. Отработка изученного материала продолжается при решении задач. Типичную *з а д а ч у* подробно в процессе беседы решают на доске и в тетрадях.

Электрон движется в вакууме в однородном магнитном поле с индукцией  $5 \cdot 10^{-3}$  Тл. Скорость электрона равна  $10^4$  км/с и направлена перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите силу, действующую на электрон, и радиус окружности, по которой он движется.

*Анализ физического явления.* В задаче рассматриваются два физических объекта — электрон и однородное магнитное поле. Поле не меняется, электрон движется. Кроме магнитного поля

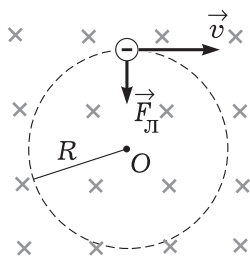


Рис. 9

на электрон действует ещё притяжение Земли, но этим действием мы пренебрегаем. (Как это доказать?)

Далее выполняют рисунок 9 и с его помощью уточняют представление о характере движения электрона. Это равноускоренное движение по окружности. Роль центростремительной силы играет сила Лоренца. При выполнении рисунка отмечают, что электрон моделируется материальной точкой.

*Идея решения* заключается в использовании формулы для силы Лоренца и описании движения по окружности с помощью второго закона Ньютона.

**Решение.** Для угла  $90^\circ$  сила Лоренца вычисляется так:

$$F_{\text{Л}} = eBv = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 1,0 \cdot 10^7 \text{ м/с} = 8 \cdot 10^{-15} \text{ Н}.$$

Для нашего движения — движения материальной точки по окружности — записываем основное уравнение динамики:

$$ma = F,$$

$$\frac{mv^2}{R} = F = eBv.$$

В итоге получаем выражение для радиуса:

$$R = \frac{mv}{eB} \approx 10^{-2} \text{ м}.$$

*Анализ решения.* Изменится ли решение, если принять, что линии вектора магнитной индукции направлены к нам? Как будет двигаться электрон в этом случае? Точные или приближённые значения силы и радиуса получены при решении задачи? (О т в е т. Приближённые.) Почему? Вводилась ли при решении система отсчёта?

**IV. Домашнее задание:** § 4; упр. на с. 23 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 600.

## Урок 7\*. Решение задач

На уроке сочетают самостоятельную и коллективную работу. Подбор задач может быть самым разным. В частности, рекомендуем задачи из учебника (§ 5\*) и следующие задачи: П., № 601—605.

*Домашнее задание:* § 4, 5\*; упр. на с. 26 (1, 2).

## Урок 8. Магнитные свойства вещества

**Задачи урока:** изучить магнитное поле в веществе; ввести понятие о магнитной проницаемости среды; познакомить с гипотезой Ампера; рассмотреть свойства ферромагнетиков (точка

Кюри и др.); раскрыть значение ферритов в науке и технике; продолжить стимулирование самостоятельной познавательной деятельности.

### Методические рекомендации

Магнитные свойства вещества рекомендуем изучать на двух уроках. Для расширения кругозора школьников следует организовать самостоятельную подготовку сообщений по темам: устройство памяти ЭВМ с магнитной записью (см.: М н е я н М. Г. Физические принципы работы ЭВМ. — М.: Просвещение, 1987); магнитное поле Земли; история о магнитных минах (см.: К а р ц е в В. П. Магнит за три тысячелетия. — М.: Энергоатомиздат, 1988); свойства и применение ферритов. Ниже обращаем внимание на ключевые моменты при построении названных уроков.

I. В начале урока повторяют решение задач на силу Лоренца. Фронтально обсуждают *вопросы*: от чего зависит результат действия силы Лоренца? Какая из изученных формул — для силы Ампера или силы Лоренца — носит более общий характер? Какое явление описывает формула для силы Лоренца?

Для создания мотивации возможна постановка э к с п е р и м е н т а л ь н о й з а д а ч и: почему изменяются показания демонстрационного вольтметра при приближении к нему корочки с подковообразным магнитом? Установка простая: источник постоянного тока ВС-24М, вольтметр с добавочным сопротивлением и шкалой на 15 В. *Цель исследования*: обратить внимание на то, как действует внешнее магнитное поле на работу прибора.

II. Как возникает и каким может быть магнитное поле в средах — вот основная *учебная проблема* урока. Приведём последовательность её решения.

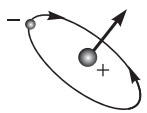
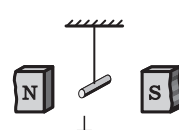
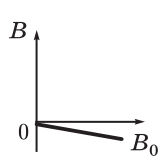

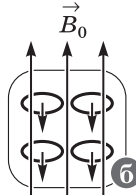
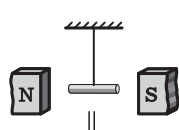
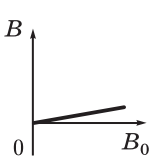

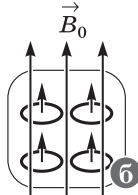
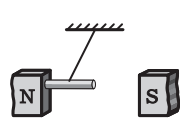
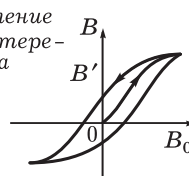
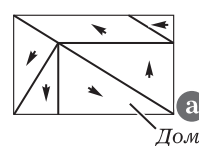
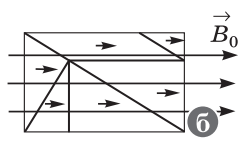
1. Нам известно, что магнитное поле существует в воздухе. Влияет ли магнитное поле на вещество?

*Опыт.* В катушку от универсального трансформатора на 120 В, по которой идёт электрический ток, вносят разные материалы и фиксируют изменение магнитного поля около катушки. В качестве индикатора магнитного поля можно использовать магнитный зонд (ДЭ-1, опыт 179), осциллограф с выключенным генератором развёртки, компас или магнитные стрелки. **Выводы:** а) при внесении многих веществ магнитное поле практически не изменяется; б) при внесении в катушку стального сердечника происходит резкое усиление внешнего магнитного поля.

2. Желательно ввести понятие о **магнитной проницаемости**  $\mu$  среды как физической величине, которая характеризует магнитное поле в однородной среде ( $B$ ) по отношению к магнитному полю в вакууме ( $B_0$ ). Важно подчеркнуть, что эти поля могут существенно различаться.

Далее следует краткая классификация веществ по их намагничиваемости. Внимание акцентируют на ферромагнетиках.

# Вещества в магнитном поле

Постоянный магнит		Гипотеза Ампера	
Создаёт магнитное поле. Имеет два полюса. Взаимодействует с другими магнитами, действует на некоторые вещества. Действует на ток		 Магнитные свойства любого тела определяются замкнутыми электрическими токами внутри его	
Свойства	Тип вещества по магнитным свойствам		
Поведение в магнитном поле  $\mu = \frac{B}{B_0}$  Зависимость поля $B$ в веществе от внешнего поля $B_0$  Природа (механизм) намагничивания	<b>Диамагнетик</b>  $\mu \leq 1$ Пример: цинк, висмут   	<b>Парамагнетик</b>  $\mu \geq 1$ Пример: натрий, кислород   	<b>Ферромагнетик</b>  $\mu \gg 1$ — до $10^5$ Пример: у стали $\mu = 8000$  Явление гистерезиса  $B'$ — остаточная намагниченность   



3. Почему тела обладают магнитными свойствами и почему эти свойства изменяются под действием внешнего магнитного поля — следующая *учебная проблема*.

Учитель рассказывает о гипотезе Ампера, используя таблицу 1, рисунок 1.36 учебника, модель доменной структуры ферромагнетиков.

III. В зависимости от условий следует более или менее подробное рассмотрение применения магнитных свойств вещества. Школьники заранее готовят выступления (например, доклад по рисунку 1.39 учебника). Важно поставить *эксперименты*. Например: а) исследование свойств магнитных лент: взаимодействие с постоянными магнитами и между собой, стирание записи, отсутствие электрической проводимости феррита при измерении сопротивления омметром; б) исследование на модели ориентации доменов до и во время действия внешнего магнитного поля (ДЭ-1, опыт 181).

Желательно подготовить выступление о магнитном поле Земли, в котором мы все живём. Наша Земля — гигантский магнит, имеющий северный и южный полюсы (рис. 10). Знание структуры магнитного поля Земли очень важно для науки, поэтому в течение суток изо дня в день в магнитных обсерваториях ведутся систематические наблюдения. Первая магнитная карта Земли была составлена в 1701 г. Э. Галлеем, который собрал и систематизировал наблюдения многих мореплавателей за поведением магнитной стрелки. В настоящее время карта магнитного поля составляется с помощью магнитометров, установленных на искусственных спутниках Земли. Исследованиями было доказано, что Южный магнитный полюс Земли удалён от Северного географического полюса примерно на 2100 км и его координаты —  $75^\circ$  с. ш. и  $99^\circ$  з. д. Северный магнитный полюс находится вблизи Южного географического полюса, а именно на  $66,5^\circ$  ю. ш. и  $140^\circ$  в. д.

Исследования, проведённые с помощью ИСЗ, показали, что собственное магнитное поле Земли представляет собой препятствие на пути потока частиц, непрерывно испускаемых Солнцем. Магнитное поле надёжно защищает Землю от космического излучения, которое оказывает разрушительное воздействие на живые организмы. В периоды высокой солнечной активности идущий от Солнца поток быстрых частиц возмущает магнитное поле Земли. Из-за этого возникают полярные сияния, а также магнитные бури, нарушающие радиосвязь и меняющие положение магнитной стрелки.

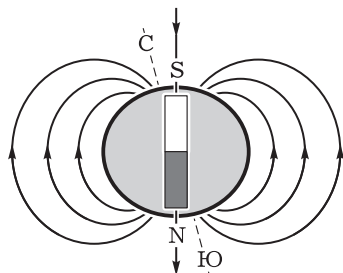


Рис. 10

**IV. Вопросы** для обобщения изученного: существуют ли магнитные поля в веществе (природе)? Какое это имеет значение для науки, техники, практической жизни? Что такое магнитная аномалия? Какова природа магнетизма? Какие аргументы можно привести в доказательство гипотезы Ампера?

**Домашнее задание:** § 6; на повторение — упр. на с. 26 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 606.

## Урок 9. Обобщающее повторение

**Задачи урока:** систематизировать знания о магнитном поле; продолжить формирование умений выделять электромагнитные явления и описывать их физическими величинами и законами; проверить знания школьников.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Обобщение изученного материала	15—20	Работа с таблицами. Выступления школьников. Беседа
<b>II.</b> Контроль знаний: самостоятельная работа	15—20	Решение задач
<b>III.</b> Подведение итогов изучения темы. Домашнее задание	3—5	Сообщение учителя. Запись на доске

**I.** Последовательно с помощью таблиц 2—4 выделяют главное в изученном материале, ещё раз устанавливают причинно-следственные и логические связи. Выделим обсуждаемые вопросы.

**1.** Магнитное поле и средства его описания (табл. 2). *Вопросы* для организации беседы: каковы основные свойства магнитного поля как физического объекта? Все ли свойства магнитного поля изучают в школе? Чем различаются магнитные поля? Как описывают независимость магнитных полей? Как описывают изменение магнитного поля прямого тока при удалении от источника?

**2.** Сравнение свойств электрического и магнитного полей (табл. 3). *Вопрос* для обсуждения: какие свойства электрического поля мы изучали? (О т в е т. Действие на заряд, постоянство во времени, однородность, зависимость от значения и расположения зарядов — источников поля и др.)

**3.** Действия магнитного поля — физические явления. Существование магнитного поля, его действие на токи и на движущиеся заряженные частицы проявляются во многих физических явлениях. Назовём их и отметим их важность (табл. 4).

# Постоянное магнитное поле

## Поле

постоянного тока, постоянных магнитов — вид материи

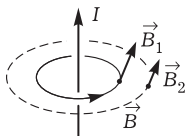
- Порождается электрическим током, действует на электрический ток
- Постоянно во времени
- Убывает от источника
- Вихревое
- Поля бывают разные: однородные, неоднородные
- Поля не действуют друг на друга; могут существовать в одной области пространства

## Свойства

## Средства описания

### Магнитная индукция

Определение: величина, направление. Линии  $\vec{B}$ . Поле прямого тока

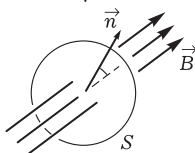


$$B = \frac{F}{Il} \text{ (Тл), } B_1 > B_2,$$

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

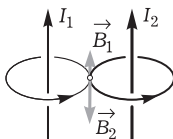
### Магнитный поток

Скалярная величина



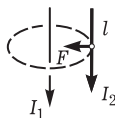
$$\Phi = BS \cos \alpha$$

### Принцип суперпозиции полей



$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

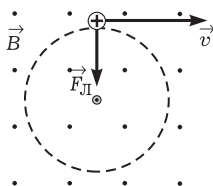
### Взаимодействие токов



$$F = BIl,$$

$$\vec{F} \perp \vec{B} \perp I_2$$

### Действие поля на движущийся заряд



$$F = Bqv \sin \alpha$$

Направление силы — по правилу левой руки

### Энергия

$$W = \frac{LI^2}{2} \text{ — катушки с током}$$

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} \text{ — любого поля}$$

Таблица 3

Свойства поля	Электростатическое	Магнитостатическое
Источник поля	Электрические заряды	Движущиеся заряды, ток
Виды полей	Однородное и неоднородное, постоянное во времени	Однородное и неоднородное, постоянное во времени
Характер поля	Потенциальное	Вихревое
Силовые линии поля	Незамкнутые	Замкнутые
Поле в веществе	Нет в проводниках, есть в диэлектриках	Есть в веществе
Энергия	Обладает	Обладает

Таблица 4

Действие магнитного поля на ток	Действие магнитного поля на заряд	Действие магнитного поля на вещество
Взаимодействие токов Электродвигатель Приборы магнитоэлектрической системы Громкоговоритель	Кинескоп Масс-спектограф Северное сияние	Намагничивание вещества — постоянные магниты Магнитная запись информации Движение вещества в магнитном поле

II. С помощью дидактического материала учитель организует самостоятельную работу по решению задач.

### Самостоятельная работа

#### Вариант I

1. Определите скорость протона, если в магнитном поле с индукцией  $0,02 \text{ Тл}$  он описал окружность радиусом  $10 \text{ см}$ .
2. Определите положение полюсов магнита по действию магнитного поля на ток (рис. 11).

#### Вариант II

1. На прямолинейный проводник длиной  $10 \text{ см}$ , сила тока в котором  $8 \text{ А}$ , действует со стороны магнитного поля сила, равная  $0,2 \text{ Н}$ . Охарактеризуйте магнитное поле.

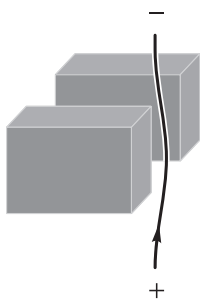


Рис. 11

2. Укажите и объясните направление в точке  $A$  вектора магнитной индукции тока, изображённого на рисунке 12.

*Домашнее задание:* упр. на с. 26 (3—4).



Рис. 12

## Глава II. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

В теме изучается связь переменного магнитного поля и вихревого электрического поля. Таким образом, делается существенный шаг в формировании представлений о едином электромагнитном поле.

Последовательность изучения вопросов темы может быть разной. Приведём два варианта планирования уроков.

### *Вариант I*

1. Явление электромагнитной индукции.
2. Индукционное электрическое поле. Правило Ленца.
3. Лабораторная работа «Изучение явления электромагнитной индукции».
4. Закон электромагнитной индукции.
5. Решение задач. Самостоятельная работа.
6. Вихревые токи и их использование в технике. Решение задач.
7. Явление самоиндукции. Индуктивность.
8. Энергия магнитного поля. Самостоятельная работа.
9. Обобщающее повторение. Электромагнитное поле.

### *Вариант II*

1. Явление электромагнитной индукции.
  2. Закон электромагнитной индукции.
  3. Лабораторная работа. Решение задач.
  4. Вихревое электрическое поле. Решение задач.
  5. ЭДС индукции в движущихся проводниках. Решение задач.
  6. Решение задач. Микрофон.
  7. Самоиндукция. Самостоятельная работа.
  8. Энергия магнитного поля. Электромагнитное поле.
- Ниже представлены модели уроков по первому варианту.

## Урок 1. Явление электромагнитной индукции

**Задачи урока:** изучить явление электромагнитной индукции и условия его возникновения; рассмотреть историю вопроса о связи магнитного поля и электрического поля; показать причинно-следственные связи при наблюдении явления электромагнитной индукции; раскрыть сущность явления при постановке опытов.

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Введение: создание мотивации, исторические сведения	3—5	Сообщение учителя. Запись названия темы
<b>II.</b> Изучение нового материала: определение понятий «электромагнитная индукция», «индукционный ток»	20—25	Эвристическая беседа. Демонстрация опытов. Выполнение рисунков и записей в тетрадях
<b>III.</b> Отработка изученного материала	10—15	Решение экспериментальных задач. Ответы на вопросы
<b>IV.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	5—6	Выделение главного. Формулировка выводов

**I.** Вводная часть урока отводится на создание познавательной мотивации для изучения материала.

Ранее в электродинамике изучались явления, обусловленные существованием постоянных во времени (статических и стационарных) электрических и магнитных полей. *Вопрос:* возникают ли новые явления при наличии переменных полей?

Впервые явление, вызванное переменным магнитным полем, наблюдал в 1831 г. М. Фарадей. Он решал *научную задачу*: может ли магнитное поле вызвать появление электрического тока в проводнике? Явление возникновения в замкнутом проводнике электрического тока при изменении в окружающем пространстве магнитного поля получило название **явления электромагнитной индукции**. Открытие этого явления внесло существенный вклад в техническую революцию и послужило научной основой современной электротехники.

**II.** Новый материал рассматривают при последовательной постановке ряда демонстрационных опытов и их обсуждении.

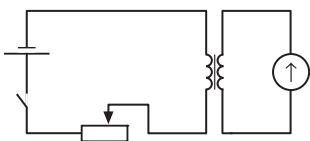


Рис. 13

**1. Опыт.** Наблюдение явления электромагнитной индукции. Электрическая цепь установки изображена на рисунке 13. Оборудование: источник постоянного напряжения на 6—12 В, соленоид из большого числа витков, например катушка на 220 В на сердечнике универсального трансформатора, гальванометр от демонстрационного вольтметра, проволоочная катушка для лабораторных работ, штатив, провода, ключ.

Учитель показывает собранную на столе установку, замыкает ключ, и все наблюдают явление. *Вопросы* для обсуждения: что мы наблюдаем при замыкании ключа? (*О т в е т.* Отклонение стрелки прибора на некоторое время.) Какие явления происхо-

дят при замыкании ключа? (О т в е т. Возникновение электрического тока в соленоиде, возникновение около соленоида магнитного поля, появление в катушке электрического тока и т. д.) Как вы думаете, что привело к возникновению электрического тока в катушке? Почему ток был кратковременным? Почему его сейчас нет, а магнитное поле есть? (Фактически в этих вопросах выражена учебная проблема урока.) Чем отличается магнитное поле в момент включения и выключения цепи (опыт повторяется) от установившегося магнитного поля? (В вопросе уже есть подсказка.) В тетрадах рядом с рисунком записывается **вывод-факт**: изменение магнитного поля вызывает ток.

2. Как описать явление электромагнитной индукции — важнейшая *учебная проблема* ряда уроков. Начнём решать эту проблему. В частности, надо выяснить, как следует характеризовать переменное магнитное поле. Основная характеристика переменного магнитного поля — магнитная индукция  $\vec{B}$  — может изменяться по модулю и направлению.

Однако явление электромагнитной индукции наблюдается и при магнитном поле с постоянной индукцией  $\vec{B}$  (рис. 14). Что же при этом изменяется? (О т в е т. Может изменяться площадь, которую пронизывает магнитное поле; или иначе — изменяется число силовых линий, которые пронизывают эту площадь.) Для характеристики магнитного поля в области пространства вводят новую физическую величину — **магнитный поток  $\Phi$**  (рисунок 2.4 учебника заносится в тетрадь, рядом — формула и единица потока).

3. Следующая *учебная проблема* урока: от чего зависит сила индукционного тока? Учащиеся могут высказать *гипотезы* с помощью учителя; можно задать *вопрос*: зависит ли сила тока от быстроты (скорости) изменения магнитного поля? Повторяют *опыт* (см. рис. 13): замыкают ключ, передвигают ползунок реостата. *Вопросы*: каким образом в опыте изменяют магнитное поле? (О т в е т. Изменением силы тока, проходящего через соленоид.) Зависит ли сила индукционного тока от скорости передвижения ползунка реостата? Аргументируйте ответ.

Далее следуют другие *вопросы*: в каких случаях (при каком положении катушки) индукционный ток не возникает? Почему не наблюдается возникновение индукционного тока, если катушку расположить перпендикулярно оси соленоида (показывают опыт)? Изменяется ли в этом опыте магнитное поле? (О т в е т. Изменяется.) От чего ещё зависит сила индукционного тока? (Вопрос непростой. Для ответа желательно выполнить рисунок 15, а, б.) Чем различаются ситуации, изображённые на этом рисунке? (О т в е т. В первом случае (см. рис. 15, а) площадь катушки пронизывает большее число силовых линий магнитного поля; во втором случае (см. рис. 15, б) — меньшее.) Вывод де-

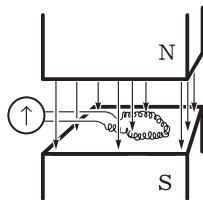


Рис. 14

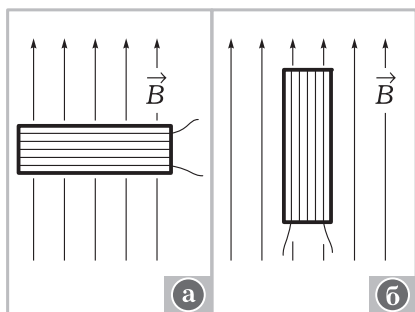


Рис. 15

ляет сам учитель, но может и подвести к нему учеников.

**Вывод:** сила индукционного тока зависит не от скорости изменения магнитной индукции, а от скорости изменения потока магнитной индукции.

Дальнейший анализ углубляет вывод. Во-первых, для потока магнитной индукции при любом расположении рамки можно записать:

$$\Phi = BScos\alpha.$$

Во-вторых, вывод можно представить математически:

$$I \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Для обобщающего повторения обсуждают *вопросы*: какими способами можно получить индукционный ток? Какими способами можно изменять магнитный поток?

**III.** Закрепление и отработка материала осуществляются при решении экспериментальных задач.

1. Продемонстрируйте явление электромагнитной индукции, имея следующее оборудование: катушку от трансформатора на 220 В, гальванометр, провода, полосовой магнит.
2. Как будет изменяться результат опыта, если два полосовых магнита соединить сначала одноимёнными полюсами, а затем разноимёнными?
3. Как и почему изменяются результаты опыта, если в соленоид вставить (или из соленоида убрать) сердечник? (Ученик демонстрирует опыт.)

При решении задач учитель организует беседу. Таким образом он формирует умение вести связный рассказ.

**IV.** По учебнику ученики ещё раз уточняют главные выводы из изученного.

*Домашнее задание:* § 7; упр. на с. 34 (ЕГЭ); Хрестоматия, с. 93—95.

## Урок 2. Индукционное электрическое поле. Правило Ленца

**Задачи урока:** ввести понятие «вихревое электрическое поле», изучить свойства этого поля; сформулировать и использовать правило Ленца; рассмотреть доказательство материальности индукционного электрического поля; раскрыть причину явления возникновения индукционного тока.



## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение знаний об электромагнитной индукции	7—10	Показ опыта. Ответы на вопросы
II. Изучение нового материала: понятие «индукционное электрическое поле», правило Ленца	25—30	Рассказ. Демонстрация опытов. Ответы на вопросы. Выполнение рисунков. Работа с учебником
III. Повторение изученного	10	Решение качественных и экспериментальных задач
IV. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. Одному ученику учитель предлагает *задание*: подготовить установку и продемонстрировать явление электромагнитной индукции (один из вариантов). Фронтально с классом обсуждают *вопросы*: каковы условия существования электрического тока? (О т в е т. Наличие свободных зарядов и наличие электрического поля.) Существует ли в индукционной катушке электрическое поле? От чего зависит сила индукционного тока?

II. Для того чтобы в катушке существовал ток, необходимо наличие электрического поля. Откуда это поле может появиться? Из опытов, показанных на предыдущем уроке, ясно, что электрическое поле появляется (и обнаруживается) в результате изменения магнитного поля. Формулируют **вывод**: в пространстве около изменяющегося магнитного поля возникает электрическое поле. Это электрическое поле не связано с зарядами.

Таким образом, главное в явлении электромагнитной индукции — порождение электрического поля переменным магнитным полем. В замкнутой катушке возникает ток, что и позволяет регистрировать явление. Катушка с гальванометром в опытах по электромагнитной индукции выполняет прежде всего роль индикатора. Индукционное электрическое поле возникает и при отсутствии этой катушки, если в пространстве есть изменяющееся магнитное поле.

Каковы же свойства индукционного электрического поля? Ответ на вопрос дополняется комментариями таблицы 3. Так как индукционное электрическое поле возникает вокруг переменного магнитного поля, то это значит, что его силовые линии замкнуты. Поле вихревое, не потенциальное. Основные его характеристики — напряжённость, работа по перемещению заряда.

Как изобразить вихревое электрическое поле? Лучше рассмотреть этот вопрос по рисунку 16, а, б. При обсуждении особо следует отметить, что магнитное поле изменяется с течением времени.

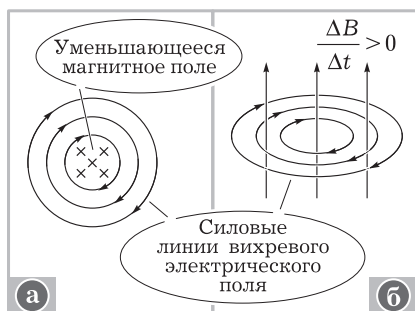


Рис. 16



Рис. 17

Направление силовых линий вихревого электрического поля совпадает с направлением индукционного тока. *Вопрос* для обсуждения: как это можно доказать? Правило для определения направления индукционного тока впервые сформулировал в 1833 г. профессор Петербургского университета академик Э. Х. Ленц.

Учитель показывает опыт (рис. 17), задаёт *вопросы*: почему магнит и проводочный виток с током взаимодействуют при движении магнита? В каком случае они будут взаимодействовать именно так? (Рассматривают два случая движения магнита.) На доске и в тетрадях учащиеся выполняют рисунки (рис. 18, а, б). Делают **вывод**: индукционный ток всегда противодействует причине, вызвавшей его.

Целесообразно сразу же для закрепления знаний использовать учебник (с. 32—33): прочитать о применении правила, рассмотреть рисунки.

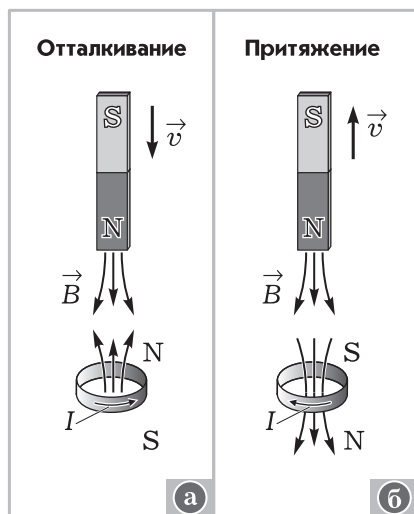


Рис. 18

Логика обсуждения рисунков и опытов следующая: при отталкивании магнита и кольца (наблюдаемое явление) ближайшая к магниту сторона кольца с током имеет тот же полюс, что и у магнита; по правилу буравчика определяем направление индукционного тока, а значит, и направление силовых линий вихревого электрического поля.

**III.** Желательно как можно больше времени на уроке выделить для решения качественных и экспериментальных задач.

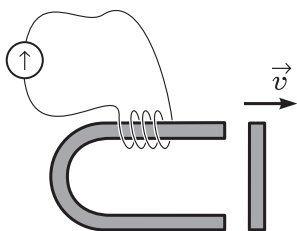


Рис. 19

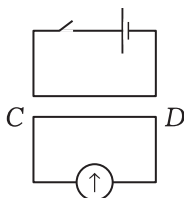


Рис. 20

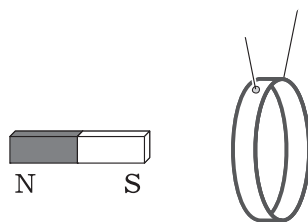


Рис. 21

1. Как и почему изменяются показания гальванометра при размыкании полюсов магнита металлической пластинкой (рис. 19)? (Примечание. Магнит лучше взять от демонстрационного гальванометра.)
2. Каково направление индукционного тока в проводнике  $CD$  при замыкании ключа (рис. 20)?
3. Почему при отклонении металлического кольца его колебания быстро затухают (рис. 21)?

IV. Домашнее задание: § 8; упр. на с. 39 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 608.

### Урок 3. Лабораторная работа «Изучение явления электромагнитной индукции»

**Задачи урока:** продолжить формирование общих и специальных умений применять правило Ленца; проводить опыты по наблюдению электромагнитной индукции; различать явление и его сущность; планировать эксперимент; наблюдать и анализировать явления.

#### Ход урока

I. Повторение теоретического материала лучше всего организовать в форме решения задач, одновременно проводя опрос по теме. Так, у доски один ученик записывает решение задачи, а другой отвечает на вопрос о правиле Ленца.

На рисунках изображены случаи возникновения явления электромагнитной индукции (рис. 22, а, б). Сформулируйте и решите задачу для каждого случая.

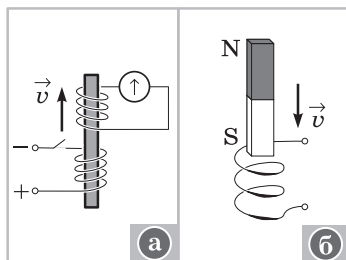


Рис. 22

Кроме того, фронтально повторяют *вопросы*: в чём заключается явление электромагнитной индукции? От чего зависит сила индукционного тока? Каковы особенности вихревого электрического поля? Что можно назвать причиной возникновения индукционного тока?

**II. Лабораторную работу** следует проводить по инструкции учебника. Приведём один из вариантов оформления работы.

1. Название.

2. Оборудование (см. учебник).

3. Теория работы включает ответы на *вопросы*: поведение каких объектов изучается? Какое физическое явление изучается? Какие физические величины, правила, законы описывают явление?

4. Порядок выполнения работы (учебник, с. 414).

5. *Контрольные вопросы*: зависит ли сила индукционного тока от индукции магнитного поля? (Примечание. Используют магнит от демонстрационного амперметра или керамические магниты.) Как продемонстрировать зависимость силы индукционного тока от скорости изменения магнитного потока? (Примечание. Дополнительно используют реостат на 6 Ом.)

В отчёте о работе необходимо потребовать от учащихся выполнения рисунков, соответствующих каждому этапу опыта. На каждом рисунке следует указать положение катушки (или одного её витка) и направление её намотки (жирной линией выделяется часть витка, обращённая к нам), полярность полюсов магнита, направление движения катушки (сердечника или магнита) и направление индукционного тока. Обязательно вычерчивают линии магнитной индукции поля. К каждому рисунку следует дать пояснение с выводом.

**III. Домашнее задание:** П., № 609; упр. на с. 45 (3).

## Урок 4. Закон электромагнитной индукции

**Задачи урока:** изучить закон электромагнитной индукции; ознакомить с использованием явления электромагнитной индукции на примере электродинамического микрофона; продолжить развитие мышления и формирование мировоззрения школьников.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Организационный момент	1—2	Сообщение учителя
II. Изучение нового материала: зависимость индукционного тока (и ЭДС индукции) от числа витков катушки и скорости изменения магнитного потока	20—25	Беседа. Эксперимент. Записи в тетрадях и на доске
III. Закрепление изученного материала	15—20	Решение экспериментальной задачи. Беседа. Наблюдение. Рассказ ученика
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2—3	Сообщение учителя

I. После организационного момента урока учитель ставит перед классом *учебную проблему*: установить количественную связь индукционного тока с изменением магнитного потока; иначе говоря, сформулировать закон электромагнитной индукции. Записывают тему урока. Затем переходят к решению проблемы.

**Оборудование:** два полосовых магнита, магнит подковообразный лабораторный, магнит от демонстрационного гальванометра, осциллограф, электродинамический микрофон, гальванометр демонстрационный, проводник длиной 1—1,2 м, два универсальных трансформатора, провода, выпрямитель, цветные мелки. На классной доске заранее должны быть подготовлены рисунки и схемы.

II. Изучение нового материала организуется поэтапно.

1. Решают экспериментальную задачу.

Предложите способ, который позволит обнаружить, какой из магнитов намагничен сильнее. **Оборудование:** два магнита (один — подковообразный лабораторный, другой — от демонстрационного гальванометра), катушка индуктивности, гальванометр, проводники.

Ученики отвечают, что надо по очереди опускать магниты в катушку одним и тем же полюсом, меняя магнитный поток. Стрелка будет отклоняться, и по отклонению стрелки гальванометра можно определить, какой магнит сильнее намагничен. Учитель рекомендует в опыте вдвигать магниты за одинаковое время  $\Delta t$ .

Ученик проводит опыт с магнитами, опуская их одним и тем же полюсом, а также разноимёнными полюсами. Делает **вывод**: сила индукционного тока прямо пропорциональна изменению магнитного потока, а изменение магнитного потока будет тем больше за одно и то же время  $\Delta t$ , чем сильнее намагничен магнит.

Учитель предлагает сделать зарисовку опыта на доске (рис. 23, а, б). Пусть вначале магнитный поток был  $\Phi_0$ , затем при движении магнитов увеличили магнитный поток сначала до  $\Phi_1$ , потом до  $\Phi_2$ . Следовательно, изменение магнитного потока через одну и ту же площадку равно:

$$\Delta\Phi_1 = \Phi_1 - \Phi_0,$$

$$\Delta\Phi_2 = \Phi_2 - \Phi_0.$$

Итак, в опыте  $I_i \sim \Delta\Phi$  при  $\Delta t = \text{const}$ .

2. *Вопрос:* как вы думаете (выскажите гипотезу), можно ли увеличить силу индукционного тока, имея то же самое оборудование? (*Ответ.* Можно, если изменить время опускания магнитов в катушку.) Учитель просит показать это на опыте.

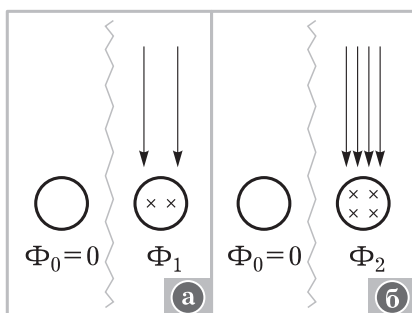


Рис. 23

Ученик повторяет опыт, опуская магниты сначала медленно, а затем быстро.

Делают **вывод**: сила индукционного тока зависит от времени движения магнита при одинаковом изменении магнитного потока.

**Вопрос**: можно ли утверждать, что существует обратно пропорциональная зависимость силы индукционного тока от времени изменения магнитного потока? (О т в е т. Да, можно.)

Как записать второй вывод на доске? (О т в е т.  $I_i \sim \frac{1}{\Delta t}$ .) Нельзя ли объединить эти два вывода? (О т в е т.  $I_i \sim \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ .) Не напоминает ли вам выражение  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  выражение  $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ ? Как бы вы его назвали? (О т в е т. Скорость.) Учитель говорит, что ответ верный, действительно, выражение  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  называют **скоростью изменения магнитного потока**. **Вопрос**: как сформулировать вывод?

3. Так как класс работал с индукционной катушкой, на которой несколько сотен витков провода, то возникает **вопрос**: влияет ли число витков на силу индукционного тока? Повторяют один из опытов прошлого урока (рис. 24, а—в). Наблюдают возрастание ЭДС индукции при увеличении числа витков. Ученик поясняет, что существует прямая пропорциональная зависимость силы индукционного тока от числа витков. Учитель предлагает обозначить число витков буквой  $N$  и уточнить предыдущий вывод:

$$I_i \sim N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Делают **вывод**: сила индукционного тока в катушке пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, и числу витков в катушке.

4. При изменении магнитного потока через поверхность контура в нём появляются сторонние силы, действие которых характеризуется ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = \frac{A}{q}.$$

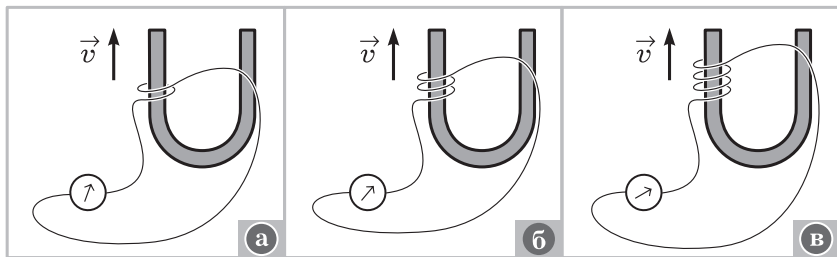


Рис. 24

Докажем это. По закону Ома  $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$ ; при постоянном сопротивлении имеем  $I_i \sim \mathcal{E}_i$ . Используя предыдущий вывод  $I_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ , из двух выражений можно получить, что для контура из одного витка  $\mathcal{E}_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ . Так как коэффициент пропорциональности выбирают равным единице, то  $\mathcal{E}_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$ , где ЭДС не зависит от свойств материала проводника.

5. *Вопрос:* можно ли считать, что закон электромагнитной индукции получен в окончательном виде?

(О т в е т. Нет, так как не ясен знак  $\mathcal{E}_i$ .) Далее необходимо обратиться к рисунку известного опыта (см. рис. 18, а). (При необходимости эксперимент повторяют.)

Через поверхность замкнутого контура возрастает магнитный поток. В контуре индуцируется ток  $I_i$ . Согласно правилу Ленца направление индукционного тока таково, что его магнитное поле  $\Phi'$  противодействует нарастанию магнитного потока, вызвавшего этот ток (рис. 25).

Поэтому  $\mathcal{E}_i < 0$ , и перед выражением  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  надо поставить знак «минус». Аналогично рассматривается случай, когда  $\Delta\Phi < 0$  (см. рис. 18, б).

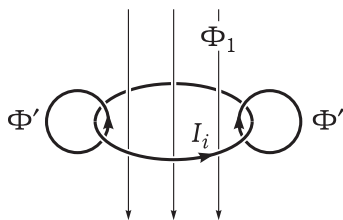


Рис. 25

Итак, величины  $\mathcal{E}_i$  и  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  должны иметь противоположные знаки.

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС индукции в замкнутом контуре равна умноженной на количество витков скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой с противоположным знаком:

$$\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Данная формула закона полностью описывает явление электромагнитной индукции.

III. Для закрепления материала решают задачи методом эвристической беседы.

1. Как удвоить ЭДС во вторичной цепи, не изменяя её сопротивление? Собрана установка (рис. 26). Оборудование: трансформатор и катушки к нему, два ярма, выпрямитель ВС-24М, демонстрационный гальванометр, ключ, провода.

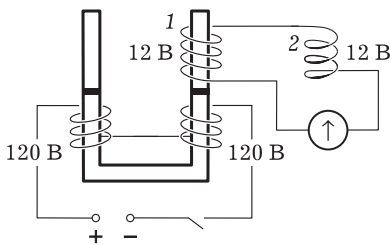


Рис. 26

**Решение.** Катушка 2 может надеваться на сердечник; при этом активное сопротивление цепи не меняется. При замыкании ключа первичной цепи гальванометр показывает, например, два деления. Надеваем катушку 2 на сердечник 1 (не изменяя вторичной цепи). Показания прибора при отклонении стрелки равны четырём делениям шкалы. (Катушка надета так, что обозначение на ней 12 В оказывается перевернутым.)

2. При каком условии ЭДС во вторичной цепи равна нулю?

**Решение.** Перевернём катушку 2 на сердечнике 1, тогда

$$I_i = 0, \mathcal{E} = 0, \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 0.$$

Учитель ставит *вопрос*: каково практическое значение закона электромагнитной индукции? (**О т в е т.** В радиотехнике, электротехнике мы имеем дело с индукционными катушками.)

Затем класс знакомится с устройством и принципом действия электродинамического микрофона. Ученик по материалу учебника делает доклад, демонстрирует опыт.

**IV. Домашнее задание:** § 8, 9\*; упр. на с. 42 (ЕГЭ); упр. на с. 45 (4). Индивидуально предлагается з а д а ч а.

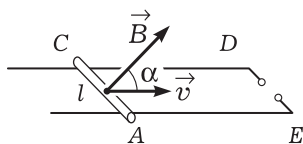


Рис. 27

Определите ЭДС индукции в контуре ACDE (рис. 27), если проводник AC длиной 20 см движется со скоростью 10 см/с в магнитном поле с магнитной индукцией 0,1 Тл. Угол  $\alpha$  равен  $30^\circ$ .

**Решение.** После краткой записи данных (анализ текста) выделяем физическое явление, которое рассматривается

в задаче. Из рисунка видно, что магнитный поток изменяется за счёт изменения площади контура. Идея решения заключается в использовании закона электромагнитной индукции. Выражение для потока магнитной индукции следующее:  $\Phi = BS \sin \alpha$ .

За время  $\Delta t$  площадь контура изменяется на  $\Delta S = -lv\Delta t$ . Подставляя все данные в уравнение закона, получаем

$$\mathcal{E}_i = Blv \sin \alpha,$$

$$\mathcal{E}_i = 0,001 \text{ В}.$$

При отсутствии замкнутого контура ЭДС в проводнике AC всё равно возникает. Её природа — действие силы Лоренца.

## Урок 5\*. Решение задач. Самостоятельная работа

**Задачи урока:** продолжить формирование умения описывать явление электромагнитной индукции законом Фарадея и правилом Ленца.

### Ход урока

**I. Мотивация** в начале урока обеспечивается как социальной, так и познавательной установкой: закон электромагнитной индукции — основной закон в данной теме, он полностью описы-



вает явление электромагнитной индукции. В нём фактически заключено всё содержание темы. Организуют работу с таблицей 5. Основной *вопрос*: какова причина возникновения вихревого электрического поля?

II. При решении задач сочетают индивидуальную и коллективную работу, используют учебник и задачник.

Один ученик готовит решение домашней задачи или задачи, приведённой ниже.

1. Магнитный поток через контур проводника сопротивлением  $3 \cdot 10^{-2}$  Ом за 2 с изменился на  $1,2 \cdot 10^{-2}$  Вб. Чему равна сила тока, проходящего по проводнику, если изменение потока происходило равномерно?

*Вопросы для обсуждения*: какое физическое явление рассматривается в задаче? Каков закон этого явления? Достаточно ли применения лишь закона Фарадея для решения задачи? Какой ещё закон следует использовать для решения задачи? Какое ещё явление наблюдалось? (О т в е т. Явление прохождения электрического тока.) В любой ли электрической цепи при её включении происходит явление электромагнитной индукции?

У доски решают экспериментальную задачу.

2. Что произойдёт с кольцом при включении электрического тока (рис. 28)? Оборудование: универсальный трансформатор с катушкой на 220 В, алюминиевое кольцо на нити, выпрямитель ВС 4-12, штатив, провода. Дайте теоретическое решение и проверьте его экспериментально.

Ещё один ученик вместе с классом решает другую задачу.

3. Изобразите магнитное поле, линии индукции которого направлены от наблюдателя. Как направлены линии напряжённости вихревого электрического поля, если индукция магнитного поля увеличивается? уменьшается?

*Вопросы для обсуждения*: какова роль переменного магнитного поля в явлении электромагнитной индукции? Всегда ли в случае переменного магнитного поля возникает вихревое электрическое поле? Как объяснить опыт с разрезанным кольцом? Каковы основные свойства вихревого электрического поля? Можно ли утверждать, что переменное магнитное поле и вихревое электрическое поле существуют в единстве?

Учитель при решении задачи управляет действиями ученика, может подсказать рациональный вариант выполнения рисунков и др.

Далее устно проверяют решения двух задач. Школьники сами должны задавать вопросы отвечающим.

Затем дополнительно решают задачу.

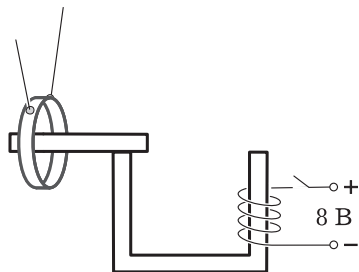
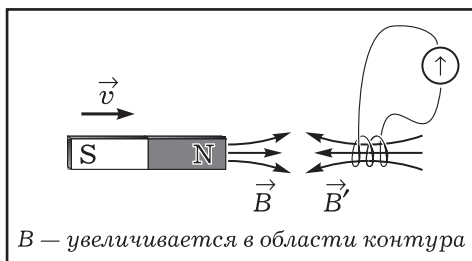


Рис. 28

# Теория явления электромагнитной индукции

## Факты

- Опыты



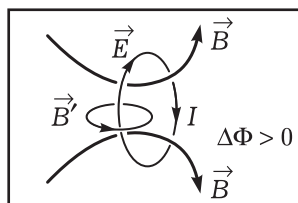
- Определение явления
- Физические характеристики явления:  $I, \mathcal{E}, B, \Phi$

## Модель

- Гипотеза Фарадея «превратить магнетизм в электричество»
- Вихревое электрическое поле

- Закон  $\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

- Правило Ленца



## Следствия. Применения

- Явление самоиндукции
- Электроизмерительные приборы
- Электродинамический микрофон
- Индукционные печи
- Трансформаторы
- Генераторы тока

4. При изменении на 0,2 Вб магнитного потока, пронизывающего контур проводника, ЭДС индукции в контуре была равна 4 В. Определите время изменения магнитного потока.

В конце решения задачи обсуждается *проблема*: какие физические величины можно определить с помощью закона электромагнитной индукции?

**III.** Самостоятельная работа выполняется школьниками в рабочих тетрадях. Учитель выборочно берёт три-четыре тетради на проверку в конце урока. Учащимся об этом сообщается заранее (они должны быть к этому готовы).

Взаимопроверка может быть организована по-разному: сильные ученики помогают слабым; проверяют работы друг друга по вариантам и т. д. При решении задач может быть использован учебник.

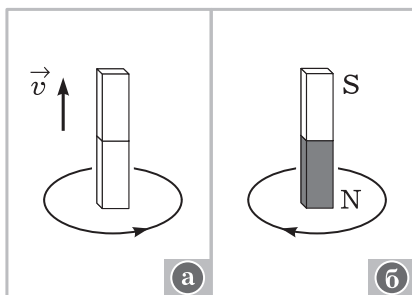


Рис. 29

### Самостоятельная работа

#### Вариант I

1. За время 5 мс в соленоиде, содержащем 500 витков провода, магнитный поток равномерно возрастает от 7 до 9 мВб. Определите ЭДС индукции в соленоиде.
2. Нарисуйте условные схемы опытов по наблюдению явления электромагнитной индукции.

#### Вариант II

1. В каком случае ЭДС индукции в замкнутом проводнике будет больше: при изменении пронизывающего его магнитного потока от 12 до 2 Вб в течение 4 с или при его изменении от 2 Вб до нуля в течение 0,1 с? Во сколько раз?
2. Составьте задачи по рисунку 29, а, б, запишите их условия, приведите решение.

**IV. Домашнее задание:** § 8, 10\*; упр. на с. 45 (1, 2).

## Урок 6\*. Вихревые токи и их использование в технике. Решение задач

**Задачи урока:** ввести понятие о токах Фуко, представление о демпфировании; совершенствовать знания о магнитной записи информации; продолжить формирование умения решать задачи на закон электромагнитной индукции; раскрыть роль теории для развития техники; продолжить развитие творческих способностей при организации индивидуальной работы.

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Организационный момент	1	Информация учителя
<b>II.</b> Изложение нового материала	15—20	Рассказ. Демонстрация опытов. Беседа. Работа с рисунками и таблицей
<b>III.</b> Решение задач	20—25	Записи в тетрадях и на доске. Эксперимент
<b>IV.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	1—2	Сообщение учителя

**I.** Учитель рассказывает план работы на уроке.

**II.** Формы изучения нового материала желательно разнообразить. Можно предложить школьникам подготовить два кратких выступления с постановкой эксперимента. Изложим последовательность изучения **токов Фуко**. Индукционные токи велики в массивных проводниках из-за малости их сопротивления. Большие токи дают большой нагрев проводников. Индукционные печи (опыт учителя); применение токов Фуко в технике, медицине и др. (табл. 6). Способы уменьшения вихревых токов; опыт с маятником Вальтенгофена; вывод о единстве положительных и отрицательных сторон явления возникновения индукционных токов. Опыт по демонстрации принципа действия магнитного успокоителя (демпфера); общие выводы.

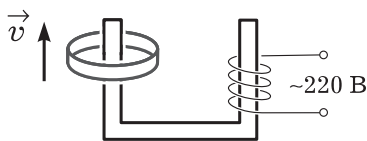


Рис. 30

После краткого введения, когда учитель рассказывает о токах Фуко, проводится опыт (рис. 30).

*Вопросы* для обсуждения: на основе чего мы делаем вывод о прохождении тока по алюминиевому кольцу? Какова может быть единственная причина нагревания кольца? Какое из колец — алюминиевое или стальное — нагревается сильнее и почему?

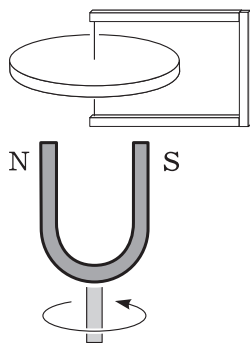


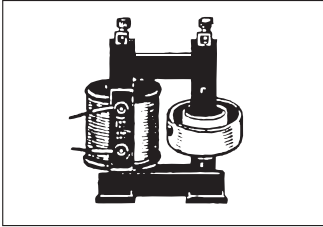
Рис. 31

Далее ставят опыт по демонстрации принципа действия индукционной печи. Используют стандартное оборудование из набора универсального трансформатора.

Учащимся предлагают экспериментальное задание: поясните, почему при вращении постоянного магнита (рис. 31) начинает вращаться диск. Где возможно использование этого явления? Оборудование: прибор для демонстрации действия вихревых токов и принципа действия спидометра.

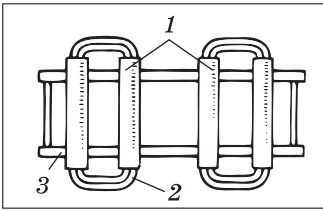
# Применение вихревых токов

## Индукционные печи



Модель печи

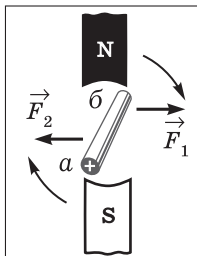
## Индукционные нагреватели



- 1 — полые металлические трубы;  
2 — провод в изоляции;  
3 — рама для крепления

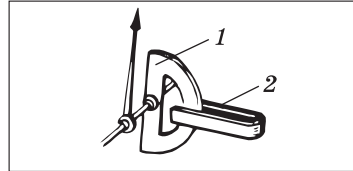
## Асинхронные двигатели

Схема,  
поясняющая  
принцип  
работы  
двигателя:



вращающийся магнит создаёт переменный магнитный поток, в замкнутом витке  $ab$  возникает индукционный ток; взаимодействие магнитного поля и индукционного тока приводит к возникновению пары сил

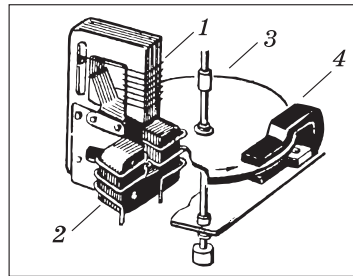
## Демпфирование электроизмерительных приборов



Модель демпфера:

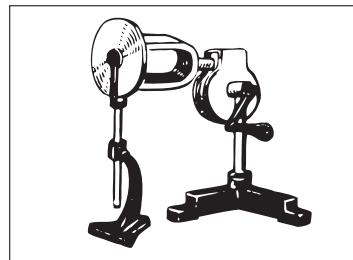
- 1 — металлическая пластина;  
2 — постоянный магнит

## Электросчётчик



- 1, 2 — обмотки;  
3 — алюминиевый диск,  
в котором индуцируются  
вихревые токи;  
4 — магнит для демпфирования

## Спидометр. Тахометр



Модель спидометра

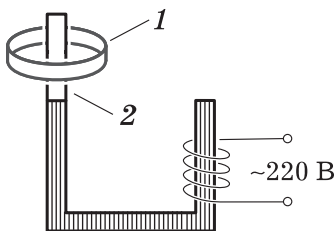


Рис. 32

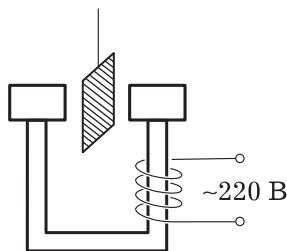


Рис. 33

Как бороться с вихревыми токами — следующая учебная проблема.

**Вопросы:** почему не нагревается сердечник трансформатора, а нагреваются кольцо 1 и металлический стержень 2 (рис. 32)? Почему колебания сплошного маятника (рис. 33) быстро затухают? Какую роль выполняет алюминиевая рамка, на которую намотана катушка, в работе прибора магнитоэлектрической системы? Разработайте и проведите опыты по выявлению демпфирующей (успокоительной) роли этой рамки. **Оборудование:** демонстрационный вольтметр, выпрямитель В-24М, магнит (лучше от списанного гальванометра).

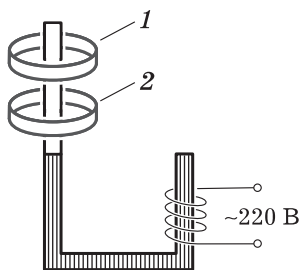


Рис. 34

Продолжается формирование представлений о магнитной записи информации, начатое в предыдущей теме. Последовательность изложения вопроса о применении ферритов такова: повторение основного свойства ферритов, демонстрация опыта (рис. 34) с движением алюминиевого 1 и ферритового 2 колец в магнитном поле (ферритовое кольцо не нагревается), рассказ о применении ферритов.

**III.** Организуется групповое, коллективное или индивидуальное решение качественных задач.

1. Как и почему изменяются качания магнитной стрелки (керамического магнита), подвешенной на нити, если снизу к ней поднести массивную медную пластинку?
2. Почему колебания стрелки прибора магнитоэлектрической системы затухают быстрее, если его клеммы замкнуты?
3. Одинаковая ли работа совершается при внесении магнита в замкнутую или разомкнутую катушку?
4. Упр. на с. 45 (5).

**IV. Домашнее задание:** § 8, 9\*, 10\*; упр. на с. 46 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 613.

## Урок 7. Явление самоиндукции. Индуктивность

**Задачи урока:** изучить частный случай электромагнитной индукции — самоиндукцию, рассмотреть понятие «индуктивность», сформулировать закон самоиндукции; организовать решение задач на явление самоиндукции; выяснить причину (природу) явления самоиндукции; показать роль самоиндукции в технике; раскрыть сходство и различия в явлениях электромагнитной индукции и самоиндукции.

### Ход урока

**I. Изучение нового материала** начинают с повторения знаний о явлении электромагнитной индукции. *Вопросы:* при каких условиях возникает явление электромагнитной индукции? Обязательно ли наличие переменного электрического поля? Какими способами можно создать переменное магнитное поле? От чего зависит сила индукционного тока?

Сначала выделяют основные особенности нового явления. Поясняют установку (рис. 35, а) и демонстрируют *опыт*. **Оборудование:** дроссельная катушка на замкнутом сердечнике трансформатора, реостат на 30—100 Ом, выпрямитель, лампочки, ключ, провода. Заранее подобран одинаковый накал лампочек. Опыт повторяют.

Организуют беседу по *вопросам*: одинаковые ли лампочки и одинаковое ли напряжение на двух параллельных участках цепи? Что происходит с лампочками при замыкании и размыкании ключа? (*О т в е т*. Лампочка Л1 загорается позднее.) Почему так происходит? Почему лампочки горят по-разному только в момент включения? С какими явлениями это может быть связано? (Не на все вопросы школьники могут сразу ответить. Но догадка близка: в опыте наблюдается явление электромагнитной индукции.)

Беседа продолжается с элементами рассказа. Её цель — проикновение в сущность явления. *Вопросы:* что происходит с током при включении ключа? (*О т в е т*. В цепи возрастает сила тока.) К чему приводит наличие в цепи изменяющегося тока? (*О т в е т*. Возникает изменяющееся магнитное поле.) На всех ли участках цепи оно возникает? (*О т в е т*. Да, на всех.) А где больше? (*О т в е т*. Больше на участках катушки.) К чему приводит наличие переменного магнитного поля? (*О т в е т*. К возникновению около него вихревого электрического поля. В проводниках вихревое электрическое поле приводит к возникновению ЭДС индукции.)

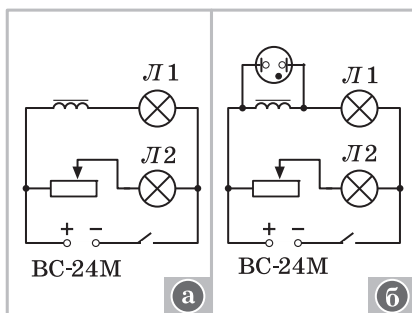


Рис. 35

Учитель делает **вывод**: в катушке возникает индукционное электрическое поле, противоположное по направлению стационарному. Явление возникновения ЭДС индукции в том же проводнике, по которому идёт изменяющийся ток и около которого возникает переменный магнитный поток, получило название **самоиндукции**.

На схеме обозначают направление стационарного электрического поля источника и направление индукционного поля (один из учеников делает это на доске). *Вопрос*: когда же исчезнет индукционное поле? (*О т в е т*. Когда прекратится изменение тока в катушке.)

Решают экспериментальные задачи.

1. Почему неоновая лампочка (рис. 35, б) не всё время горит, а только вспыхивает в момент выключения электрического тока? Почему лампочка Л2 для успешного проведения опыта должна быть выкручена?
2. Почему изменяется яркость вспышки лампочки при смене катушки на сердечнике трансформатора (см. рис. 35, а)?
3. Зависит ли явление самоиндукции в проводнике от свойств проводника? От каких свойств проводника зависит явление самоиндукции в проводнике?

Далее об индуктивности можно прочитать материал в учебнике, записывая формулы

$$\Phi \sim B \sim I \rightarrow \Phi = LI,$$

$$\mathcal{E}_{is} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

$$L = - \frac{\mathcal{E}_{is}}{\frac{\Delta I}{\Delta t}} \rightarrow 1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ В}}{1 \frac{\text{А}}{\text{с}}} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}.$$

Итоговый **вывод** можно сформулировать в виде ответа на *вопрос*: от чего же зависит индуктивность? Затем следует решение экспериментальной задачи.

Изменяются ли результаты опыта (см. рис. 35, а), если убрать сердечник трансформатора? Чем это можно объяснить?

Техническое применение самоиндукции раскрывают при обсуждении *вопросов*: почему при размыкании электрической цепи рубильником возникает искра или разряд? Почему при отрыве скользящего контакта троллейбуса от воздушного провода возникает искра?

II. Изучение нового материала уже включает в себя и его отработку. Дополнительно для усвоения изученного материала следует решить задачи.

1. Две катушки подключены к источнику постоянного напряжения. На рисунке 36 приведены графики изменения силы тока в катушках с течением времени. Какая катушка обладает большей индук-



тивностью? В какой момент времени ЭДС самоиндукции была наибольшей? Одинаково ли активное сопротивление у катушек?

2. Какая из катушек обладает большей индуктивностью (рис. 37, а—в)?
3. Почему при размыкании электрической цепи (рис. 38) работает электрический звонок, горит неоновая лампочка, а лампочка накаливания не горит? Почему при отключении звонка неоновая лампочка не горит, а горит лампочка накаливания? **Оборудование:** выпрямитель ВС-24М, модель звонка, катушка на 220 В на замкнутом сердечнике трансформатора, лампочка на 3,5 В, неоновая лампочка, провода, ключ.
4. Как и почему изменится накал лампочки, соединённой последовательно с катушкой, если замкнуть магнитопровод, снять катушку с сердечника? **Оборудование:** выпрямитель ВС-24М, лампочка на 3,5 В, дроссельная катушка, содержащая 3600 витков, реостат на 100 Ом, провода, ключ.
5. Чему равна индуктивность соленоида, если при силе тока 5 А через него проходит магнитный поток 50 мВб?

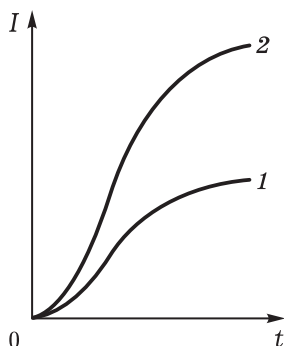


Рис. 36

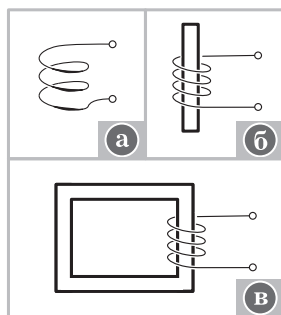


Рис. 37

**III.** В заключение ещё раз отвечают на *вопросы*: какое явление получило название «самоиндукция»? Какова причина этого явления? Как его можно обнаружить? Как следует понимать индуктивность катушки?

При подведении итогов используют таблицу 7. *Вопросы*: что характеризует магнитный поток? Как изменяется магнитное поле в случае самоиндукции? От чего зависит индуктивность катушки?

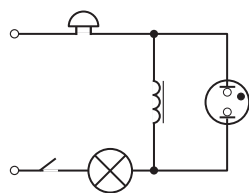


Рис. 38

**IV. Домашнее задание:** § 11; П., № 620, 621.

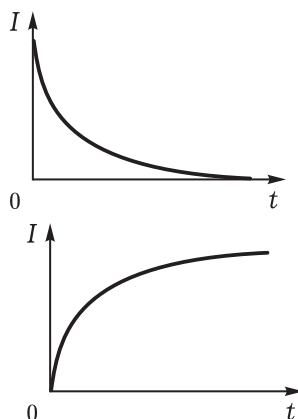
## Урок 8. Энергия магнитного поля. Самостоятельная работа

**Задачи урока:** ввести понятие «энергия магнитного поля»; продолжить формирование умения описывать явление электромагнитной индукции физическими величинами и законами; продолжить формирование мировоззрения школьников на основе развития представлений о материальности магнитного поля, связи электрического и магнитного полей.

## Теория явления самоиндукции

### Факты

- Объект изучения — переменный ток в индукционной катушке
- Явление самоиндукции: возрастание (и убывание) тока в катушке при замыкании (размыкании) цепи
- Определение явления
- Физические характеристики явления:  $I, E, B, \Phi, L$



### Модель

- Переменный магнитный поток переменного тока контура приводит к возникновению вихревого электрического поля в нём
- Закон  $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
- Индуктивность  $L$ , её смысл

### Следствия. Применения

- Включение люминесцентных ламп
- Образование дуги при отрыве штанги троллейбуса от провода
- Получение искрового разряда — катушка Румкорфа
- Применение дроссельных катушек
- Плавное уменьшение тока в цепях с помощью реостата

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение: порядок работы на уроке, задачи урока	1—2	Сообщение учителя
II. Углубление знаний и изучение нового материала	10—15	Эксперимент. Рассказ. Беседа. Записи в тетрадах
III. Самостоятельная работа. Контроль знаний и умений	25—30	Записи в тетрадах. Работа с учебником. Решение задач
IV. Домашнее задание	2—3	Запись на доске. Комментарий учителя

При ином планировании выполнение самостоятельной работы переносится на следующий урок.

### I. Введение.

II. При изучении физики в 7—9 классах мы убедились, что физические процессы обуславливаются передачей энергии от одного физического объекта к другому, переходом энергии из одного вида в другой, сохранением полной энергии замкнутой физической системы. *Вопрос:* как происходит преобразование энергии при самоиндукции? Рассматривают *опыт*.

При замыкании ключа (рис. 39) источник тока совершает работу по возникновению и поддержанию электрического тока. Однако сначала, когда ток увеличивается, часть энергии идёт на создание возрастающего магнитного поля; в свою очередь, энергия магнитного поля, пока оно изменяется, переходит в энергию вихревого электрического поля. Последнее складывается со стационарным полем источника тока. При замыкании цепи вихревое электрическое поле направлено против стационарного, при размыкании цепи наоборот. Таким образом, при размыкании цепи вихревое электрическое поле некоторое время поддерживает существование тока. Энергия, запасённая в магнитном поле, переходит во внутреннюю и световую энергии при образовании искры, вспыхивании лампочки.

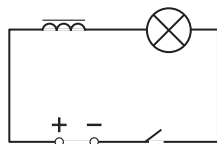


Рис. 39

Получить выражение для энергии магнитного поля — основная *учебная проблема* изучения нового материала. Рационально дать вариант ответа с использованием аналогии между самоиндукцией и инерцией в механике: индуктивность — масса, сила тока — скорость, энергия поля — кинетическая энергия.

Отсюда для энергии магнитного поля, которая равна энергии индукционного тока, получаем выражение

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Повторяют главное. *Вопросы:* обладает ли магнитное поле энергией? На основе чего можно сделать такой вывод? (О т в е т. При размыкании ключа в опыте лампочка ещё некоторое время горит. Значит, совершается работа. Это может произойти за счёт запаса энергии магнитного поля.) Может ли переходить энергия магнитного поля в энергию электрического поля? (О т в е т. Может.) Может ли быть наоборот? (О т в е т. Да.) Можно ли утверждать, что полная энергия магнитного и вихревого электрического полей в явлении электромагнитной индукции всегда равна максимальной энергии магнитного поля? Аргументируйте ответ. Откуда она взялась, за счёт чего она образовалась? (О т в е т. За счёт источника тока. Значит, можно сказать, что для получения искры расходовалась энергия источника тока.)

III. Так как тема невелика и возможности для отработки умений небольшие, то следует продолжить формирование умений при выполнении самостоятельной работы.

### Самостоятельная работа

#### Вариант I

1. В катушке при увеличении за время 0,01 с силы тока от 1 до 2 А возникает ЭДС самоиндукции, равная 20 В. Определите индуктивность катушки и изменение энергии её магнитного поля.
2. Составьте задачи по рисункам учебника. Сформулируйте идеи их решения.

#### Вариант II

1. Проводник AC (рис. 40) длиной 1 м и сопротивлением 2 Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. К проводнику подведено электрическое напряжение, равное 1 В. Чему равна сила тока в проводнике, если проводник покоится? движется вправо со скоростью 4 м/с? Возможно ли такое движение проводника, при котором суммарный ток равен нулю?

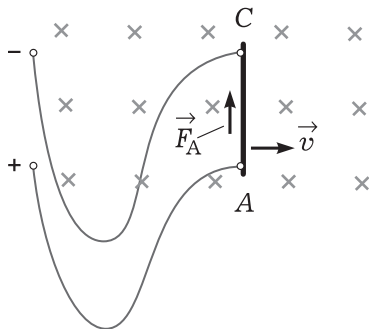


Рис. 40

**Решение.** Задача сложнее, чем приведённые ранее. Главное — разобраться в явлениях. Проводник покоится, но ток идёт; причина — источник тока. Сила тока определяется по закону Ома для участка цепи. При движении проводника наблюдаем ещё одно явление — возникновение ЭДС индукции. Направление силовых линий магнитного поля индукционного тока определяется по правилу левой руки. Практически очевидно, что может быть

такая ситуация, при которой суммарный ток будет равен нулю. (О т в е т.  $I_1 = 0,5$  А,  $I_2 = 0,3$  А.)

2. Перечислите основные свойства вихревого электрического поля и средства его описания.

**IV. Домашнее задание:** § 11, 12\* (1, 2); две задачи на выбор: упр. на с. 52 (1, 3) или П., № 623—625.

## Урок 9\*. Обобщающее повторение. Электромагнитное поле

**Задачи урока:** продолжить формирование понятий «переменное магнитное поле», «переменное электрическое поле»; обосновать введение единого понятия «электромагнитное поле»; обобщить знания о явлении электромагнитной индукции.

### Ход урока

**I.** Два ученика у доски готовят ответы по одной из задач из двух вариантов самостоятельной работы. Фактически они приводят примеры решения этих задач. В это время класс вместе с учителем обсуждает решение какой-либо другой задачи. *Вопросы:* какое физическое явление рассматривается? Какими законами оно описывается?

**II.** В начале обобщающего повторения учитель задаёт *вопросы:* какое основное физическое явление мы изучаем в теме? Какие физические объекты были основными?

Далее повторяют свойства полей (см. табл. 3). Таблицу у доски разбирает ученик, который может быть предупреждён заранее. Другой ученик у доски выполняет задание по карточке: заполняет таблицу 8 (дана её форма).

Таблица 8

Основные законы и физические величины	Физические явления или объекты
ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	Явление электромагнитной индукции: переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое, а в замкнутом проводнике — ток
ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$	Явление самоиндукции
Индуктивность $L$	Характеристика свойств проводника и окружающей среды
Энергия $W = \frac{LI^2}{2}$	Характеристика магнитного поля

По возможности решают задачу или повторяют решение задач по записям в тетрадях.

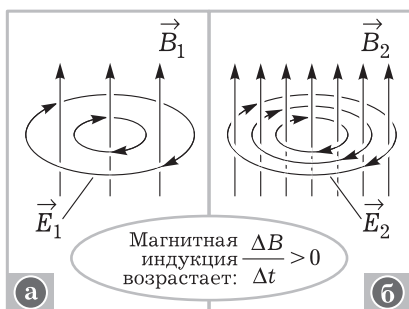


Рис. 41

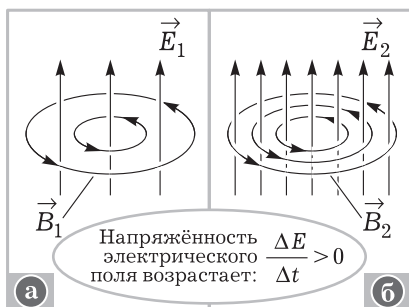


Рис. 42



Рис. 43

III. Предлагаем последовательность изучения электромагнитного поля.

Вихревое электрическое поле порождается переменным (тоже вихревым) магнитным полем. На рисунке 41, а, б показано возрастающее магнитное поле и зависящее от него вихревое электрическое поле.

*Вопрос:* может ли переменное электрическое поле порождать переменное магнитное поле? В вопросе суть гипотезы Максвелла. На рисунке 42, а, б изображён сам процесс.

Переменные электрические и магнитные поля не могут существовать друг без друга. Их взаимосвязь позволяет сделать вывод о существовании единого электромагнитного поля.

Показывают *опыт* с цепочкой Брегга (рис. 43). О б о р у д о в а н и е: два-три замкнутых сердечника от универсального трансформатора, катушки от прибора «Магнитное поле кругового тока» или другие, гальванометр, источник тока (аккумулятор или выпрямитель ВС 4-12), ключ, провода. Ключ замыкают на доли секунды.

*Вопросы* для обсуждения: что происходит в первой катушке при замыкании ключа? К чему это приводит? Что происходит при пронизывании переменным магнитным полем второй катушки? Так рассматривается вся цепочка причинно-следственных отношений. Опыт позволяет моделировать процесс распространения электромагнитного поля.

При замкнутом ключе стационарное электрическое поле и ток создают постоянное магнитное поле, которое не может во второй катушке создать электрическое поле. На следующем уроке один из школьников должен повторить опыт и объяснить его.

IV. При подведении итогов урока ещё раз обсуждают *вопросы*: какое явление изучалось в пройденной теме? В чём оно состоит? Какова его природа? Каков закон этого явления?

*Домашнее задание:* § 12\* (3, 4); упр. на с. 52 (2).

## Часть II. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Идея изучения колебаний и волн разной природы в одном разделе существует давно. В новом издании учебника она также реализована. При чётком разделении природы рассматриваемых явлений единообразное их описание даёт преимущество в формировании умений школьников. Авторы учебника особо подчёркивают, что в физике разработаны достаточно универсальные модели описания явлений. Умение их использовать — во многих случаях залог успеха. К таким моделям относится математическая модель колебательного движения — дифференциальные уравнения колебаний. Идею и логику использования этой модели школьники могут усвоить. Помимо этого, при изучении всех тем раздела сохраняется общий подход к рассмотрению физических явлений (табл. 9).

Таблица 9



Все физические явления происходят с какими-либо физическими объектами и в итоге проявляются в движении (изменении состояния) этих объектов. После выделения, а таким образом, и определения явления необходимо указать его характеристики — физические величины, принципы, модели, законы, теории. Можно описать явление в целом, можно это сделать более точно (что, естественно, труднее). Но нет абсолютно точного знания в физике. Всё имеет свои границы применимости.

Общая установка для формирования мотивации учения такова: для чего же нужны физические знания, порой такие сложные? (О т в е т. Для понимания мира, в котором мы живём, для формирования умений видеть и решать различные проблемы; изученные понятия и законы можно применять во многих сферах жизни.)

### Глава III. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Механические колебания — частный случай механического движения. Модель колебательного движения весьма распространена, и не только в физике. В теме изучаются общие закономерности колебательного движения на конкретном (и наглядном) примере. Особое значение при разработке методики имеют задачи пропедевтики изучения темы.

Тема небольшая, поэтому мало манёвра при планировании уроков. В условиях дефицита времени, по-видимому, следует

вместо шести уроков ограничиться четырьмя. Они строятся по логике: а) виды колебательного движения, их феноменологические свойства; б) модели колебательных систем, характеристики колебаний, уравнение движения; в) прикладные задачи. В таблице 10 расшифровано содержание темы по этапам цикла познания.

При отборе содержания уроков учитель должен в равной мере использовать как теоретический, так и экспериментальный методы изучения явлений, показать их взаимосвязь и взаимодополняемость. Так, например, экспериментально измерив длину математического маятника, можно теоретически рассчитать период его колебаний. Принципиально важную роль играет не столько изучение идеальных колебательных систем, сколько исследование реальных систем природы и техники. Необходимо подчёркивать, что в итоге на основе законов науки познаётся окружающий мир.

## Урок 1. Колебательное движение

**Задачи урока:** дать определение колебательного движения; познакомить с видами колебаний; повторить понятие о физической системе и дать примеры колебательных систем; ввести представление о кинематических характеристиках колебаний; продолжить формирование умений выделять, наблюдать и описывать механические колебания физических систем.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Организационное введение: постановка целей изучения темы, план работы на уроке	1—2	Сообщение учителя
<b>II.</b> Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Демонстрация опытов. Работа с учебником
<b>III.</b> Отработка изученного материала	10—15	Самостоятельная работа. Эксперимент
<b>IV.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	3—5	Фронтальное повторение. Запись на доске

#### I. Введение.

**II.** В основной части урока учитель кратко излагает новый материал, демонстрирует три наиболее распространённые колебательные системы (рис. 44), с помощью беседы вводит и сразу же закрепляет основные понятия (см. табл. 11). Обратимся к организации изучения нового материала.



# Механические колебания

## Факты

- Объект изучения: колебательное движение тела или системы тел
- Виды колебательного движения: свободные (идеальные), затухающие, вынужденные
- Определение явления
- Кинематические характеристики движения: амплитуда, период, частота, координата, фаза

## Модель

- Модели колебательных систем: математический маятник, пружинный маятник, замкнутая система
- Закон колебательного движения

$$x'' = -\omega_0^2 x$$

Решение уравнения

$$x = A \sin \omega_0 t$$

- Закон сохранения энергии замкнутой колебательной системы

## Следствия. Практика

- Использование колебаний в часах, приборах геологоразведки, качелях и др.
- Расчёт характеристик колебательных систем: периода, амплитуды и др.
- Получение вынужденных звуковых колебаний в громкоговорителях и др.
- Резонанс

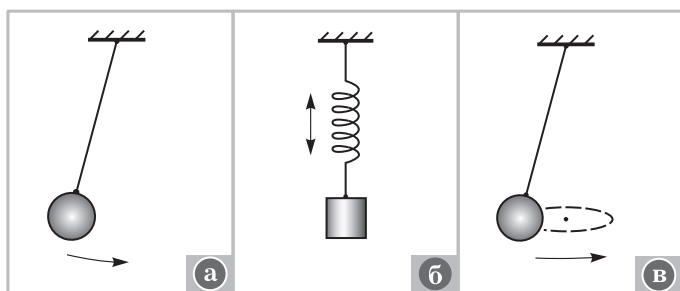


Рис. 44

1. Изучение нового материала можно начать с *вопроса*: какое движение называют механическим? После ответа учитель демонстрирует колебание пружинного маятника и задаёт *вопросы*: можно ли назвать наблюдаемое явление механическим движением? Почему? Затем, после первичного определения явления, следует краткий рассказ о распространённости колебательного движения в природе: колеблются деревья, ветки и листья, струны гитары, руки человека при ходьбе и т. п.

2. Каковы виды колебаний и каковы характерные особенности колебательного движения, каковы основные кинематические характеристики механических колебаний — *учебные проблемы* урока.

Изучение любого явления начинается с выделения объекта, движение которого определяет явление. Учитель даёт определение физической системы из учебника (с. 53), а далее конкретизирует: физическая система, в которой происходят колебания, получила название **колебательной системы**. Приводят примеры таких реально существующих систем: металлическая линейка, один конец которой зажат в тисках; шарик в чаше; гиря, подвешенная на нити.

На примерах знакомят со свободными и вынужденными колебаниями.

3. В науке для изучения явлений строят модели. В частности, для изучения колебаний используют две распространённые модели колебательных систем — математический маятник и пружинный (горизонтальный или вертикальный) маятник (рис. 44, а, б). По определению **математический маятник** — это материальная точка, подвешенная на невесомой и нерастяжимой нити. *Вопросы* для обсуждения: что такое модель? Зачем нужны модели? Есть ли модели в природе?

На примере одного из маятников выделяют особенности механических колебаний, вводят их характеристики. Заполняют или комментируют таблицу 11. Подчеркнём, что это лишь первичное введение характеристик колебаний. *Вопросы* для организации беседы: как изменяется координата тела (материальной точки)

Таблица 11

Свойства колебаний	Характеристики колебаний	
Пространственная ограниченность движения	$A$ — амплитуда, т. е. максимальное отклонение тела (материальной точки) от положения равновесия; $x$ — координата материальной точки; траектория — отрезок прямой линии, окружность и т. п.	
Периодичность движения	$T$ — период, т. е. время одного колебания; $\nu$ — частота, т. е. число колебаний за 1 с; $\lambda$ — длина волны	
Свободные колебания — незатухающие	Изменение координаты с течением времени	
Неравномерность движения	Изменение скорости, т. е. $\vec{v} \neq \text{const}$ 	Изменение ускорения, т. е. $\vec{a} \neq \text{const}$ 

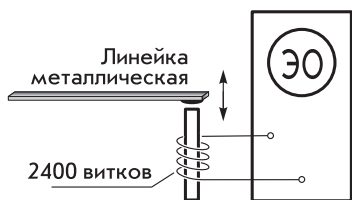


Рис. 45

при его колебательном движении? Как определить амплитуду колебаний? Как экспериментально определить период колебаний? Какие характеристики колебаний остаются постоянными за всё время движения? Почему свободные колебания называют идеальными?

Как экспериментально получить график изменения положения тела с течением времени? Для ответа в зависимости от условий демонстрируют «механическую» (рис. 3.9 учебника) или «электрическую» осциллограмму (рис. 45). В последнем случае обсуждают *вопросы*: каково условие возникновения колебаний плоского маятника? Как происходит превращение механических колебаний керамического магнита в электрические колебания, регистрируемые осциллографом? Как в математике называют график свободных колебаний? Что можно сказать об амплитуде наблюдаемых колебаний? *Оборудование*: осциллограф, дроссельная катушка с сердечником, металлическая линейка с керамическим магнитом на конце, провода, штатив.

**III. Формирование представлений** продолжается при решении фронтальных экспериментальных задач.

#### *Вариант I (или ряд I)*

1. Пронаблюдайте колебания груза, подвешенного на резиновом шнуре (пружине).
2. Определите траектории движения тела, направления скорости в двух-трёх точках (рисунок выполняется в тетрадах).
3. Докажите, что движение груза происходит с переменным ускорением.
4. Определите амплитуду колебаний, укажите причину её изменения.

#### *Вариант II*

Аналогично для математического маятника.

**IV. Подведение итогов урока** организуют в виде *фронтального повторения*: какое движение называют колебаниями? Охарактеризуйте движение математического (пружинного) маятника по плану: движущийся объект; траектория, скорость, ускорение; причина движения (пропедевтика учебной проблемы следующего урока).

*Домашнее задание*: § 13; упр. на с. 58 (ЕГЭ).

## **Урок 2. Динамика колебательного движения**

**Задачи урока**: познакомить с динамическим описанием колебательного движения пружинного и математического маятников; продолжить формирование умений выделять и характеризовать явления.

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Актуализация знаний и постановка учебной проблемы	8—10	Устный опрос. Опыты и их объяснение
<b>II.</b> Изучение и отработка нового материала	25—30	Рассказ учителя. Демонстрация опытов. Работа с учебником. Записи в тетрадях. Решение задач
<b>III.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	3—5	Фронтальное повторение

**I.** В начале урока организуется повторение изученного материала. У доски один из школьников отвечает на *вопросы*: какое движение называют колебательным? Продемонстрируйте и охарактеризуйте это движение. Как экспериментально определить амплитуду, период колебаний? Изменяется ли скорость тела? Как экспериментально определить скорость? (Обсуждение вопроса готовит учащихся к постановке учебной проблемы теоретического описания колебаний.)

В заключение обсуждают *вопрос*: каковы условия и причины колебаний пружинного (математического) маятника? Он определяет постановку *учебной проблемы* урока.

**II.** В начале урока учитель обращает внимание на то, что не все характеристики колебательного движения легко определить экспериментально, иногда их проще рассчитать теоретически. Для этого надо знать законы движения системы. Для формулировки законов нужно: а) правильно выбрать модель изучаемой системы; б) выделить материальные причины — действия — и охарактеризовать их силами. Сделаем это для двух моделей колебательных систем — пружинного маятника и математического маятника.

**1. Пружинный маятник.** Ученик демонстрирует горизонтальный пружинный маятник, с помощью рисунков учебника (рис. 3.1) выделяет характерные положения тела, действующую силу — силу упругости, выясняет её природу. Одновременно использует текст учебника (с. 55). Фронтально обсуждают *вопросы*: какие тела (и силы) действуют на груз в положении равновесия? Как силы соотносятся между собой? Остаётся ли это соотношение во время движения? Аргументируйте ответ. Какие объекты ещё начинают действовать на груз при его отклонении от положения равновесия? Меняется ли это действие во время движения груза?

Далее записывают второй закон Ньютона для груза. По логике учебника получают уравнение — закон движения груза:

$$a_x = -\frac{k}{m}x.$$
 Подчёркивают, что поскольку ускорение переменное, то мы не можем решить это уравнение.

**2. Математический маятник.** Аналогично рисунку 3.2 учебника выполняют рисунок на доске и в тетрадях, математические выкладки (с. 56—57 учебника) делает учитель. При этом обсуждают *вопросы*: каковы условия колебаний математического маятника? Под действием каких тел происходит колебательное движение? Какие силы приложены к материальной точке? Изменяются ли они во время движения? Изменяется ли результирующая этих двух сил? Как она направлена? (О т в е т. При выполнении крупного рисунка, малом угле отклонения, выборе оси  $X$  по линии движения груза уравнение принимает вид

$$a_x = -\frac{g}{l}x.)$$

**3. Решение уравнения.** Уравнения для движения двух колебательных систем оказались одинаковыми. Сейчас задача — решить их, т. е. найти зависимость координаты от времени. Уравнение с производными  $x'' = -\frac{k}{m}x$  называют дифференциальным уравнением, для которого есть особые приёмы решения. Опыт подсказывает, что решение можно поискать в виде  $x = x_m \cos \omega t$ . Далее по логике учебника получают (или учитель приводит) выражения для амплитуды, циклической частоты, вводят выражения для периода и частоты колебаний.

**Общий вывод:** закон колебаний позволил нам получить формулы для теоретических расчётов колебательных систем.

Давайте этим воспользуемся для описания конкретных объектов, т. е. для решения задач.

Для отработки материала формулируют *вопрос*: от каких свойств системы зависит период колебаний математического (пружинного) маятника? Решают одну-две задачи. Например: упр. на с. 68 (1), П., № 627.

**III. Итоги урока** подводят при обсуждении *вопросов*: каковы условия движения математического маятника? А почему он не колеблется в воде? (Возможен опыт.) Каков закон колебательного движения? Как называют колебания, у которых координата изменяется по закону косинуса?

*Домашнее задание:* § 13, 14; индивидуально П., № 629, 630.

## **Урок 3. Описание движения колебательных систем. Решение задач**

**Задачи урока:** познакомить с графическим описанием гармонических колебаний пружинного и математического маятников; ввести понятие о фазе колебаний; продолжить формирование умений выделять и характеризовать явления.

**I.** У доски с комментарием повторяют теорию при ответе на *вопрос*: в чём проявляется динамика колебательного движения? Идея решения домашних задач и разные вопросы теории повторяют фронтально. *Вопросы*: как формулируется основной закон

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10—15	Устный опрос. Опыты и их объяснение
II. Изучение нового материала	10—15	Рассказ учителя. Работа с учебником. Записи в тетрадях
III. Отработка изученного материала	10—15	Решение задач
IV. Домашнее задание	1	Комментарий учителя

колебательного движения математического маятника? Как он выводится? К какому решению он приводит? Позволяет ли решение найти координату тела в любой момент времени?

**II. Новый материал** заключается в графическом описании колебательного движения.

1. Выбирают для исследования модель колебательной системы — математический маятник, записывают уравнение колебаний и строят его график (рис. 3.4 учебника). Колебательное движение, при котором изменение физической величины происходит по закону косинуса или синуса, называют **гармоническим**.

2. Изучают свободные колебания математического маятника по его графику. Вводят понятия «фаза колебаний», «сдвиг фаз». Уместно при этом использовать рисунки и текст учебника. Параллельно обсуждают *вопросы*: меняется ли фаза колебаний при движении маятника? Какова начальная фаза колебаний математического маятника, если мы привели его в движение толчком из положения равновесия? Чему равна фаза колебаний через 1 с после начала движения при движении по закону  $x = 5\cos 4t$ ? Чему равна начальная фаза колебаний (рис. 3.5 учебника)? Чему будет равна фаза этих колебаний через 7 с?

**III.** Для коллективного и индивидуального решения рекомендуем задачи: П., № 626, 628, 634.

**IV. Домашнее задание:** § 14; упр. на с. 68 (2). Индивидуально — задание: а) изготовьте математический маятник с периодом колебаний 0,5 с; б) определите период колебаний металлической линейки, сравните его с периодом колебаний математического маятника той же длины.

## Урок 4. Лабораторная работа «Определение ускорения свободного падения с помощью маятника»

**Задачи урока:** организовать освоение экспериментального метода при изучении простейшего колебательного движения; продолжить формирование умений планировать свою деятельность, вести записи и др.

## Ход урока

I. В начале урока учитель сообщает порядок выполнения и оформления работы. В отчёте должно быть отражено: название работы, оборудование, краткая теория (какое явление изучается; какова рабочая формула), результаты измерений и вычислений, расчёт погрешности измерений, вывод, выполнение контрольных заданий.

Фронтально повторяют теорию по *вопросам*: какое движение называется колебательным? Какими физическими величинами оно характеризуется? Какие из них периодически изменяются? Какие остаются постоянными? Что такое математический маятник? Какую из данных колебательных систем (груз на пружине, шарик на короткой и длинной нити) можно считать математическим маятником? Как определяется период колебаний математического маятника? От чего он зависит? Какие физические величины можно определить с помощью данной формулы? Зависит ли ускорение свободного падения от длины маятника? от периода колебаний?

II. Последовательность действий школьников определена инструкцией учебника. Приведём для примера результаты измерений типичной школьной работы.

$n$	$l$ , м	$N$	$t$ , с	$t_{\text{ср}}$ , с	$T_{\text{ср}}$ , с	$g_{\text{ср}}$ , м/с <sup>2</sup>
1	1,50	40	99	97	2,4	10
2	1,51	40	95			

Ускорение определено следующим образом:

$$g_{\text{ср}} = \frac{(2\pi)^2 l}{T^2} = \frac{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 1,51}{(2,4)^2} = \frac{59,8}{5,76} \approx 10 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Теперь нужно оценить погрешность выполненных измерений. Относительная погрешность метода определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta t}{t} = \frac{0,01}{1,51} + \frac{2 \cdot 2}{97} \approx 0,05.$$

Если длина измеряется с абсолютной погрешностью 5 мм, а время при 40 полных колебаниях — до 1 с, то относительная погрешность будет не меньше 0,03. В нашем случае относительная погрешность равна 0,05. На практике она ещё больше, так как есть ещё ошибки при определении числа колебаний, затухание и т. д.

Отсюда абсолютная ошибка равна:

$$\Delta g = g_{\text{ср}} \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Если в полученный интервал значений ускорения табличное значение 9,8 м/с<sup>2</sup> не попадает, то работа выполнена некорректно. Возможны следующие причины: ошибки в измерениях,



ошибки при работе с приближёнными числами, неучтённые погрешности и др.

Общий вывод с учётом правил приближённых вычислений:

$$g = g_{\text{ср}} \pm \Delta g = 10 \pm 0,5 \text{ м/с}^2.$$

В качестве проверки знаний используют контрольные задания.

1. Измерив амплитуду колебаний, запишите уравнение гармонических колебаний изучаемого маятника.
2. С помощью опыта докажите, что период колебаний математического маятника не зависит от амплитуды колебаний.

**III. Домашнее задание:** упр. на с. 65 (ЕГЭ); упр. на с. 68 (3).

## Урок 5\*. Энергетическое описание движения колебательных систем. Решение задач

**Задачи урока:** продолжить отработку динамического описания колебательного движения; продолжить формирование умения применять закон сохранения полной механической энергии.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Актуализация знаний. Повторение	7—10	Фронтальный опрос. Проверка домашнего задания
II. Изучение и отработка нового материала	30	Решение задач. Работа с учебником. Записи в тетрадях
III. Домашнее задание	1	Запись на доске

I. В начале урока проводят проверку домашнего задания.

II. Изучение нового материала может быть организовано следующим образом. В механике, кроме использования законов Ньютона, при описании явлений широко используют закон сохранения импульса и закон сохранения энергии. Как использовать закон сохранения энергии для описания механических колебаний — основная учебная проблема урока.

1. Обсуждают *вопросы*: когда можно применить закон сохранения полной механической энергии? (О т в е т. В случае если рассматриваемая система замкнутая.) Можно ли считать, что математический маятник и пружинный маятник — замкнутые системы? Вспоминают, что свободные колебания происходят под действием только внутренних сил. Выясняют, какова их природа.

2. Сначала рассматривают горизонтальный пружинный маятник (рис. 3.1 учебника). Записывают закон сохранения энергии.

Для этого выбирают два «удобных» состояния системы. Первое состояние — амплитудное отклонение ( $A$ ) груза от положения равновесия; второе — момент прохождения грузом положения равновесия.

Для первого состояния полная энергия равна:

$$E_1 = E_{к1} + E_{п1} = 0 + \frac{kA^2}{2}.$$

Для второго состояния полная энергия будет равна:

$$E_2 = E_{к2} + E_{п2} = \frac{mv_{\max}^2}{2} + 0.$$

Для произвольного состояния полная энергия равна:

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}.$$

В итоге закон сохранения может быть записан в виде

$$E_1 = E_2 = E,$$

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

*Вопросы для организации беседы:* в каком состоянии системы потенциальная энергия груза максимальна? В каком состоянии кинетическая энергия максимальна? Почему при отпуске отклонённого маятника кинетическая энергия груза возрастает? Какую работу совершает сила упругости за период колебаний? Что происходит с энергией колебательной системы при уменьшении амплитуды колебаний? Как это доказать?

3. Записывают закон сохранения энергии для математического маятника. Состояния системы выбирают по аналогии с предыдущим случаем (рис. 46). В итоге получают

$$E_1 = E_2,$$

$$\begin{aligned} \frac{mv^2}{2} + mgl(1 - \cos \alpha) = \\ = \frac{mv_{\max}^2}{2} = mgl(1 - \cos \alpha_{\max}). \end{aligned}$$

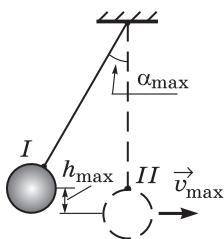


Рис. 46

Учитель показывает на установке эти состояния колебательной системы.

4. К доске приглашают ученика для решения задачи.

Определите потерю энергии математическим маятником (рис. 47) за одно колебание, если до остановки маятник совершает 500 колебаний. Масса маятника равна 0,2 кг.

Заканчивается изучение нового материала решением фронтальной экспериментальной задачи.

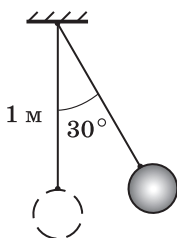


Рис. 47

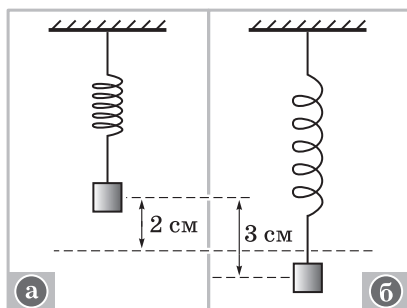


Рис. 48

Постройте график зависимости удлинения пружины от действующей силы, по графику определите работу силы, сравните её значение с потенциальной энергией растянутой пружины. Оборудование: пружина (или динамометр), штатив, линейка.

**III. Домашнее задание:** § 14; П., № 637. Индивидуально — задача.

Груз массой 0,1 кг подвесили на пружине жёсткостью 10 Н/м, отклонили от положения равновесия на 2 см и отпустили. Определите скорость груза в точке, находящейся на расстоянии 3 см от первоначального положения (рис. 48, а, б). Сопротивление воздуха не учитывайте.

## Урок 6. Вынужденные колебания. Резонанс

**Задачи урока:** ввести понятие о вынужденных колебаниях; изучить условия и характеристики резонанса; познакомить с применением резонанса в технике; систематизировать знания о видах колебаний и средствах их описания.

### Ход урока

**I. Может ли колебательное движение механической системы быть вечным?** С этого вопроса начинается повторение материала.

В окружающей нас природе мы не наблюдаем «вечных» (т. е. свободных) колебаний. Понятно, что это идеальные колебания. Они возможны лишь в замкнутой механической системе, но в природе таких идеальных систем нет.

Как влияет на колебания системы превращение части её механической энергии во внутреннюю — первая *учебная проблема* урока.

Почему колебания маятника с течением времени затухают? (Ученик демонстрирует один из возможных случаев.) Обсуждают *вопросы*: как меняется колебательное движение маятника с течением времени? Остаётся ли постоянной полная механическая энергия маятника? Как доказать, что она уменьшается?

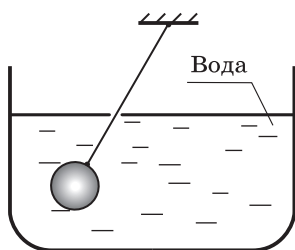


Рис. 49

В какую энергию и энергию каких тел переходит механическая энергия колебаний? Какие аргументы можно привести в пользу такого предположения? В результате какого процесса это происходит? (Учитель обращает внимание школьников на нагревание подвеса качелей, на разрушение верёвочного подвеса и т. п.)

Какие ещё силы трения могут действовать на маятник? Учитель демонстрирует *опыт* (рис. 49).

**II.** Далее следует переход к решению основной *учебной проблемы*: как влияют на колебания системы действия внешних тел? Приведём последовательность изложения материала.

1. Кратковременное действие может увеличить или уменьшить амплитуду колебаний, что равносильно одноразовому сообщению энергии системе. Примеры таких случаев: мальчик подтолкнул друга, качающегося на качелях; при прохождении положения равновесия мальчик на качелях задел ногой землю; по колеблющемуся телу щёлкнули линейкой.

Иногда кратковременное воздействие может привести к прекращению колебаний. Демонстрируют опыт.

2. Внешнее действие периодически. В этом случае система совершает колебания с частотой внешней силы. Такие колебания называют **вынужденными**.

Затем обсуждают *вопрос*: зависит ли амплитуда колебаний маятника от частоты изменения внешней силы?

Для ответа на вопрос проще всего обратиться к известному *опыту* (рис. 50). Внешнее периодическое действие осуществляет маятник 2 при своём движении — раскачивает подвес. Последовательность выполнения опыта: маятники 1, 3, 4 приводятся в колебательное движение с небольшими одинаковыми амплитудами, затем «включается» действие внешней силы. Следуют *вопросы*: одинакова ли амплитуда колебаний маятников? У какого маятника она наибольшая? Можно ли определить частоту внешней силы? Какова собственная частота колебаний маятника 4?

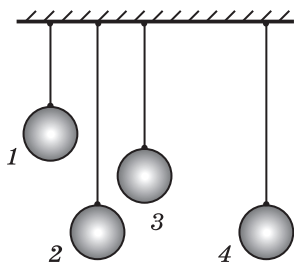


Рис. 50

Какой можно сделать вывод? (О т в е т. Максимальная амплитуда колебаний возникает в случае, когда частота внешней силы совпадает с частотой собственных колебаний маятника.)

Учитель формулирует общий **вывод**: явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний маятника при совпадении частоты изменения внешней силы с частотой свободных колебаний называется **резонансом**.

3. С помощью учебника выясняют ответы на *вопросы*: как зависит амплитуда собственных колебаний от частоты внешней силы? Как объяснить возрастание амплитуды колебаний при частоте резонанса  $\nu_p$ ? Почему при увеличении трения амплитуда колебаний уменьшается (кривая 2 на рисунке 3.12 учебника)?

4. С помощью таблицы 12 школьник делает доклад о применении резонанса в технике.

Таблица 12

## Роль резонанса в технике и быту

Положительная	Отрицательная
<p>Вибраторы</p> 	<p>Действие ветра на провода и опоры высоковольтных линий</p> 
<p>Частотометр</p> 	<p>Разрушение фундаментов машин и механизмов, разрыв болтов при работе двигателей</p> 
<p>Раскачивание качелей</p> 	<p>Звон посуды в шкафу, вибрация оконных стёкол при движении тяжёлых машин по мостовой, раскатах грома и т. п.</p>

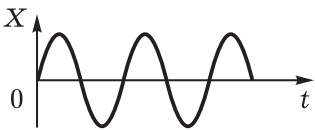
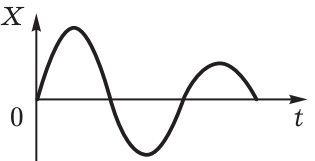
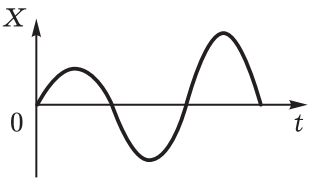
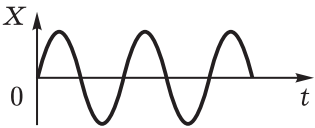
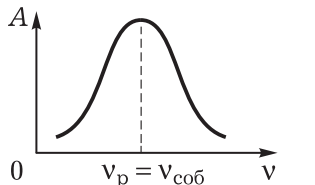
III. Рассматривают решение следующих задач: пример № 2 (с. 66 учебника); П., № 640.

IV. Подведение итогов урока, выделение главного и установление связи с ранее изученным материалом организуется с помощью таблицы 13. Дополнительно приводят примеры проявлений явления в природе и технике.

Домашнее задание: § 16; упр. на с. 68 (4); индивидуально – упр. на с. 73 (4, 5).

Таблица 13

## Виды колебательного движения

Виды колебаний	Характеристики	
	Физические величины	График
Свободные (идеальные)	$\nu = \text{const}$ $A = \text{const}$	
Затухающие	$\nu = \text{const}$ $A$ уменьшается	
Вынужденные	$\nu_{\text{кол}} = \nu_{\text{вн. силы}}$ $A$ возрастает	
	$A = \text{const}$	
Резонанс	$\nu_{\text{соб}} = \nu_{\text{вн. силы}}$ $A$ возрастает	

## Урок 7\*. Решение задач. Систематизация знаний

**Задачи урока:** продолжить формирование умений выделять колебательное движение, описывать его физическими величинами, графиками, формулами; организовать контроль и взаимоконтроль изученного.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Организационный момент	1	Сообщение учителя
II. Повторение и контроль изученного материала	8—10	Физический диктант
III. Совершенствование умений: пример решения задачи, повторение решённых задач, решение новых задач	25—30	Коллективное, групповое и индивидуальное решение задач. Записи в тетрадях. Взаимопомощь и взаимоконтроль. Беседа
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Ответы на вопросы. Отчёты о работе. Запись на доске

#### I. Организационный момент.

II. В конце изучения колебаний проводится **физический диктант** с целью контроля и взаимоконтроля знаний. На листочках подготовлены рисунки и записи. Для ответа на вопрос необходимо определить номер записи или рисунка, сделать краткое пояснение.

#### Вариант I

1. Какое из уравнений или какой график описывает движение математического маятника, выведенного из положения равновесия (рис. 51)?
2. Укажите изображение математического маятника (см. рис. 51).
3. Какая из формул выражает закон движения для математического маятника (см. рис. 51)?
4. Запишите закон сохранения энергии для пружинного маятника.
5. Чем различаются колебания, графики которых изображены на рисунке 51, *в*, *г*, *з*?
6. В каком случае (см. рис. 51, *б*) колебания одного маятника быстро приведут к таким же колебаниям другого маятника?

#### Вариант II

1. Укажите графики свободных колебаний (см. рис. 51).
2. От чего зависит резонанс?
3. Укажите график затухающих колебаний (см. рис. 51).
4. Равны ли массы грузов одинаковых пружинных маятников, графики которых изображены на рисунке 51, *ж*?
5. Какая из формул является основной для пружинного маятника?

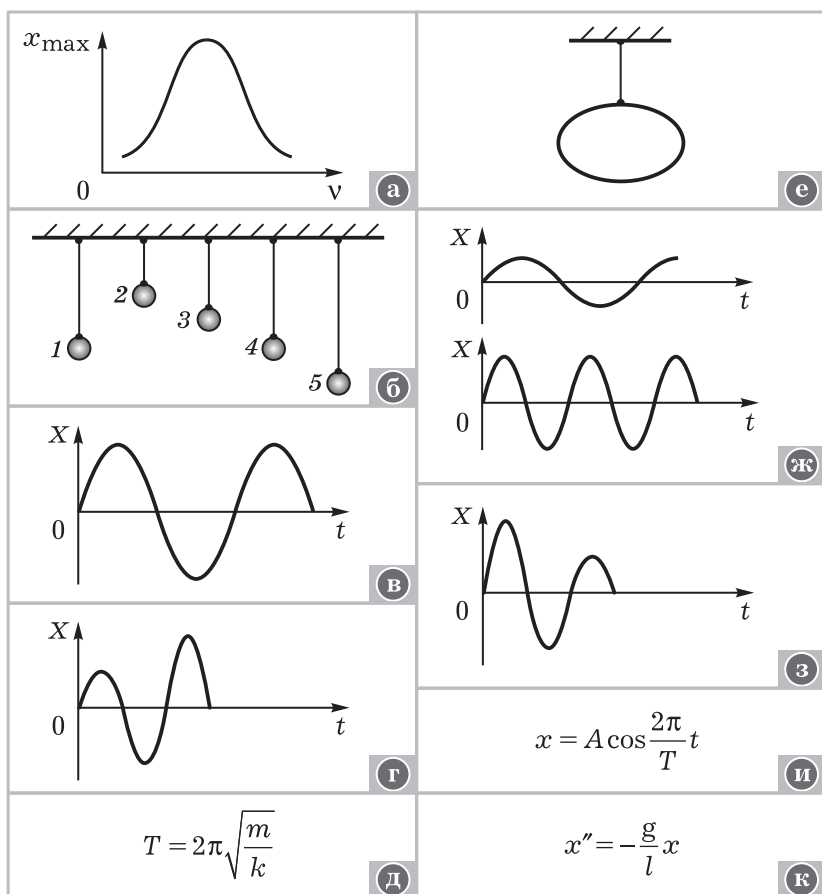


Рис. 51

6. Запишите формулу для частоты колебаний математического маятника.

**III.** Для решения рекомендуем задачи: П., № 632, 633, 636. Экспериментальная задача.

Изменятся ли период колебаний шарика (железо, алюминий, медь, пластмасса), если под ним поместить электромагнит (керамический магнит)?

В качестве примера приведём решение типичной задачи.

За одно и то же время один математический маятник совершает 50 колебаний, а другой — 30. Определите их длины, если один из них на 32 см короче другого.

*Анализ текста и физического явления.* В задаче рассматриваются два разных колебательных движения: колебания матема-



тического маятника длиной  $l_1$ , колебания математического маятника длиной  $l_2$ . Периоды колебаний маятников неизвестны, но можно определить их отношение.

*Идея решения.* Каждое из колебаний описать уравнением для периода, решить полученную систему уравнений.

**Р е ш е н и е.**

Для первого маятника период колебаний  $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}$ .

Для второго маятника период колебаний  $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}$ .

Кроме того, имеем  $l_2 = 0,32 + l_1$  и  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{t \cdot n_2}{n_1 \cdot t}$ .

В этих четырёх уравнениях четыре неизвестных, поэтому система разрешима. Поделим почленно первое уравнение на второе. С учётом четвёртого уравнения имеем

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}},$$

следовательно,

$$\begin{cases} l_2 - l_1 = 0,32 \\ \frac{l_1}{l_2} = \frac{9}{25}. \end{cases}$$

Выполним математические преобразования:

$$l_2 = 0,32 + l_1,$$

$$0,32 + l_1 = \frac{25}{9}l_1.$$

Получаем

$$l_1 = \frac{0,32 \cdot 9}{16} = 0,18 \text{ (м)},$$

$$l_2 = 0,32 + 0,18 = 0,5 \text{ (м)}.$$

*Анализ решения.* Первый маятник длиннее второго, его период больше, значит, число колебаний за фиксированный промежуток времени должно быть меньше. Если формально в системе уравнений посчитать, что  $l_1 - l_2 = 0,32$ , то значение длины будет выражаться отрицательным числом. Последнее и означает, что разность длин имеет другой знак.

**IV. Вопросы** для систематизации знаний: какое физическое явление мы изучали на последних уроках? Каковы основные характеристики колебаний? Какие зависимости между величинами мы установили? Какие характеристики колебаний можно определить с помощью этих уравнений? Как это сделать? (Обсуждаются записанные на доске формулы.) Какие задачи можно составить на приведённые зависимости? (Используется таблица 13.)

*Домашнее задание:* § 15\* (5); упр. на с. 68 (4, 5).

## Глава IV. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Идейно и содержательно эту тему можно разделить на три части: свободные электромагнитные колебания, переменный ток, получение и использование электрической энергии.

Каждая часть относительно замкнута, хотя изучается одна группа явлений. Систематизацию и обобщение знаний можно проводить по выделенным частям.

### Урок 1. Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания

**Задачи урока:** сформировать представления о свободных и вынужденных электромагнитных колебаниях; ввести понятие об идеальном колебательном контуре как модели простейшей физической системы, в которой могут происходить колебания; изучить процессы в колебательном контуре; продолжить формирование общеучебных умений наблюдать, анализировать, выделять и записывать главное.

#### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение. Постановка учебной проблемы	10—15	Беседа по вопросам. Работа с таблицей
II. Изучение нового материала	25	Рассказ учителя. Демонстрации. Работа с учебником. Записи в тетрадях. Беседа
III. Подведение итогов. Домашнее задание	10	Решение задач. Выделение главного

I. Ранее было рассмотрено явление механических колебаний, т. е. периодическое движение механической системы. При демонстрации колебаний пружинного маятника обсуждают *вопросы*: какое движение называют колебательным движением? Каковы его свойства? Что изменяется при механических колебаниях пружинного маятника? Какие средства описания механических колебаний мы изучили? Какие колебания называют свободными? Как изменяются координаты при свободных колебаниях маятника? Чем отличаются вынужденные механические колебания от свободных? (Организуют работу с таблицей 13.)

Происходит ли колебательное движение в других физических системах — основная *учебная проблема* данного урока.

II. Приведём вариант рассмотрения нового материала.

1. При изучении электрических явлений учёные открыли новый вид колебательного движения — **электромагнитные колебания**. В электрической цепи, состоящей из заряженного кон-

денсатора (лейденской банки) и проволочной катушки, обнаружился процесс периодического изменения заряда на конденсаторе, силы тока в цепи и напряжения на катушке.

Простейшая физическая система, в которой могут происходить электромагнитные колебания, состоит из последовательно соединённых конденсатора и катушки индуктивности (рис. 4.1 учебника). Если активное сопротивление такой цепи равно нулю, то систему называют **идеальным колебательным контуром**.

2. Как же можно обнаружить такой процесс? Очевидно, что с помощью органов чувств мы не можем наблюдать изменения заряда, силы тока, напряжения. Значит, нужен прибор. Можно показать *опыт* (рис. 52) с использованием гальванометра (амперметра). Другой вариант — использование осциллографа (ДЭ-2, с. 40 и др.). (Следует краткий рассказ об установке, демонстрируются свободные колебания.) При демонстрации опытов обсуждают *вопросы*: зависят ли колебания от характеристик колебательного контура? Если зависят, то как? Изменяется ли амплитуда колебаний с течением времени? Аргументируйте ответ. Какова амплитуда колебаний в идеальном колебательном контуре?

3. По аналогии с механическими приводят определение вынужденных колебаний.

4. Какие процессы происходят в колебательном контуре — следующая *учебная проблема*. В ходе беседы (при использовании учебника) на доске и в тетрадях выполняют рисунки (рис. 53).

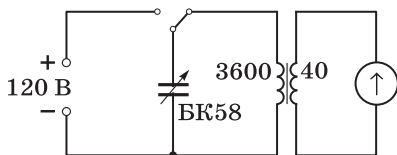


Рис. 52

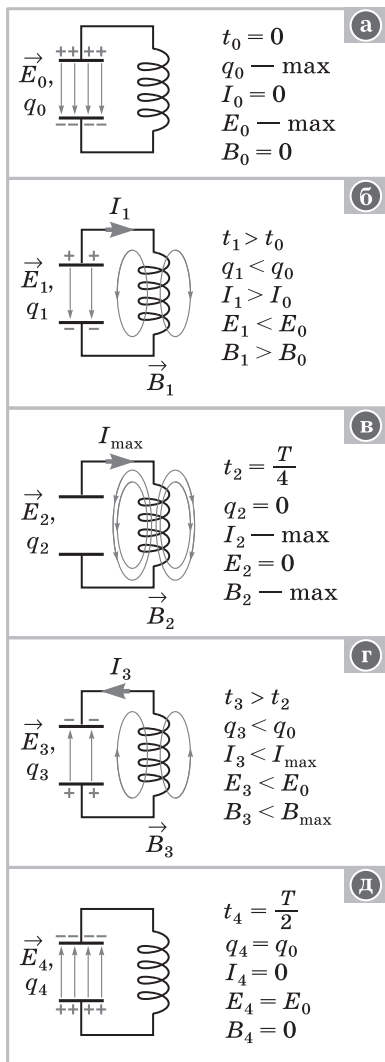


Рис. 53

**Вопросы:** при каких начальных условиях возможны электрические колебания в колебательном контуре? (Простейший случай — зарядка конденсатора.) Какие физические процессы происходят в колебательном контуре? Какие физические величины изменяются? Можно ли считать колебательный контур замкнутой физической системой? Какой известный закон всегда выполняется для замкнутой системы?

**III. Повторение и отработка изученного** продолжается при решении экспериментальных задач.

1. Какую гипотезу можно экспериментально доказать, изменяя активное сопротивление колебательного контура с помощью реостата? Какую роль выполняют катушка и конденсатор в колебательном контуре?
2. Какую гипотезу можно экспериментально проверить, имея установку (см. рис. 52)?

**Домашнее задание:** § 17; упр. на с. 76 (ЕГЭ); индивидуально — упр. на с. 85 (1).

## Урок 2. Теоретическое описание электромагнитных колебаний

**Задачи урока:** определить основные характеристики электромагнитных колебаний по аналогии с механическими колебаниями; получить и решить уравнение колебаний, интерпретировать полученные в ходе решения следствия.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10—15	Беседа по вопросам. Работа с таблицей
II. Изучение нового материала: колебательный контур, электромагнитные колебания, их характеристики	25	Рассказ учителя. Демонстрации. Работа с учебником. Записи в тетрадях. Беседа
III. Подведение итогов. Домашнее задание	10	Решение задач. Выделение главного

I. Один из школьников поясняет логику таблицы 10. С классом обсуждают *вопросы*: в какой момент сила тока в контуре максимальна? Когда ток в контуре не идёт?

II. Основная *учебная проблема* урока: каковы закономерности такого явления, как электромагнитные колебания в идеальном контуре. Приведём последовательность изучения нового материала.

1. В начале объяснения, по аналогии с механическими колебаниями, вводим основные физические величины, характеризующие

ющие электромагнитные колебания. Составляем и комментируем таблицу, подобную таблице учебника на с. 79.

2. После введения основных физических величин следует обратиться к задаче получения основного закона колебательных процессов в контуре. (Конспектируют вывод, приведённый в учебнике.) После преобразований получаем уравнение

$$q'' = -\frac{1}{LC}q.$$

Полученная формула аналогична уравнению колебаний пружинного маятника:

$$x'' = -\frac{k}{m}x.$$

Очевидно, что уравнение колебаний для координаты  $x$  пружинного маятника и уравнение колебаний для заряда  $q$  на конденсаторе имеют одинаковый вид. Для нас важно, что решение дифференциального уравнения свободных электромагнитных колебаний в контуре приводит к следующему выражению для заряда:

$$q = q_m \cos \omega_0 t,$$

где  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$

Колебания заряда на конденсаторе, которые происходят по закону косинуса или синуса, называют **гармоническими колебаниями**. По аналогичному закону происходят колебания силы тока в контуре, напряжения на конденсаторе и других физических величин:

$$i = I_m \cos \left( \omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right),$$

$$u = U_m \cos \omega_0 t.$$

Из формулы  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  можно получить выражение для периода колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (\text{формула Томсона}).$$

Она достаточно удобна для расчёта важнейших постоянных характеристик контура:  $T$ ,  $L$ ,  $C$ .

3. Как экспериментально доказать, что в колебательном контуре действительно происходят колебания силы тока и напряжения? (Лучше всего повторить опыт — см. рис. 52.)

III. В конце урока выделяют главное по *вопросам*: какое физическое явление наблюдается в колебательном контуре, если конденсатор зарядить? Каков закон этого явления? От чего зависит период электромагнитных колебаний? Изменяется ли он при увеличении числа витков катушки?

*Домашнее задание:* § 18\*, 19, 20\* (задача 1); упр. на с. 85 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 644.

## Урок 3\*. Графическое описание электромагнитных колебаний. Решение задач

### Методические рекомендации

Третий (и желательно четвёртый) урок отводится на отработку знаний. Особое внимание уделяют конкретным приёмам. Основной метод — решение задач.

1. Графики изменения физических величин с течением времени во многих случаях удобны для описания любых процессов. На рисунке 4.7 учебника приведены графики изменения заряда на конденсаторе и силы тока в колебательном контуре. В начальный момент времени заряд на конденсаторе максимальный, сила тока в цепи равна нулю. Если колебательный контур идеальный, то электромагнитные колебания продолжаются бесконечно долго и соответственно графики бесконечно продлеваются вправо по оси.

График изменения заряда соответствует уравнению

$$q = q_m \sin(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}).$$

Выражение  $\omega_0 t + \frac{\pi}{2}$  называют **фазой колебаний**, а угол

$\frac{\pi}{2}$  — **начальной фазой**. В начальный момент времени фаза колебаний как раз равна начальной фазе. Значение фазы колебаний определяет значение физической величины (например, заряда, силы тока и т. п.) в заданный момент времени, так как амплитудное значение величины постоянно. **Вывод:** фаза колебаний однозначно описывает состояние колебательной системы.

Графики, изображённые на рисунке (рисунок 4.7 учебника заносят в тетради), различаются при равной амплитуде (чего всегда можно достичь за счёт выбора единиц величин) только фазой колебаний. Сдвиг фаз составляет  $\frac{\pi}{2}$ , причём сила тока от-

стаёт по фазе от заряда. Для определения разности фаз колебаний нужно формулы колебаний выразить через одну тригонометрическую функцию.

2. Иногда важно на графиках сравнить колебания лишь по частоте и амплитуде, в этом случае графики представляют собой прямые линии (рис. 54). А сами графики называют **спектральным изображением**. На рисунке изображены пять колебаний разной частоты и амплитуды. Максимальная частота  $\nu_5$ , а максимальная амплитуда колебаний у частоты  $\nu_4$ . Такой способ изображения важен тогда,

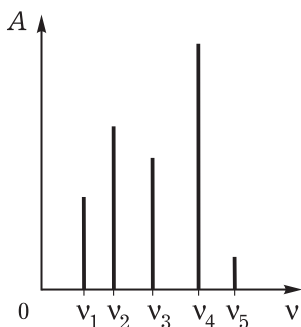


Рис. 54

когда сложное колебание представляют (разлагают) в виде суммы нескольких гармонических колебаний. Такое разложение и называют **спектром**.

### 3. Пример решения типичной задачи.

Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $C = 400$  пФ и катушки индуктивностью  $L = 10$  мГн. Определите амплитуду колебаний силы тока, если амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе равна 500 В.

**Выделение явления.** По условию задачи выделяем явление — свободные гармонические электромагнитные колебания в колебательном контуре. Вид уравнения колебаний, например силы тока, следующий:  $i = I \cos \omega_0 t$ . Как определить силу тока  $I$ ?

**Описание явления.** Вспоминаем, что колебательный контур — это замкнутая физическая система. Для неё выполняется закон сохранения энергии. Это — важное и хорошее средство описания нашего явления. Запишем его:

$$\frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2}.$$

Анализ уравнения убеждает в том, что, во-первых, искомая величина входит в уравнение; во-вторых, все остальные величины известны. Выразим нужную величину:

$$I = U \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Остаётся выполнить расчёт. В результате решения получаем  $I = 0,1$  А. *Вопросы* для обсуждения: точное или приближённое значение силы тока мы получили? Как это доказать? (Подсказка. Подумайте: данные ёмкости, индуктивности и напряжения — точные или приближённые значения?) Зависит ли амплитудное значение силы тока от значений ёмкости и индуктивности?

### 4. Задачи для самостоятельного решения: П., № 646, 648.

*Вопросы* для обсуждения: из чего состоит изучаемая физическая система? Какое физическое явление мы описываем?

### 5. Домашнее задание: § 17, 18\*, 19; П., № 649, 650.

## Урок 4\*. Экспериментальное исследование электромагнитных колебаний. Решение задач

### Методические рекомендации

В первой части урока углубляют представления об экспериментальном изучении колебаний.

Теоретическое описание колебаний имеет ряд преимуществ: по начальным условиям с помощью известных формул (закономерностей) можно рассчитать нужные параметры. Но обычно первичное изучение процесса, накопление сведений о нём осуществляются с помощью *эксперимента*.

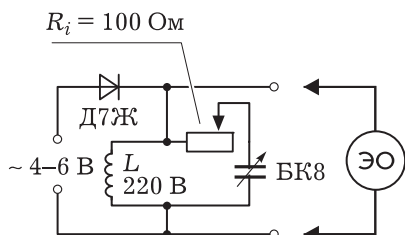


Рис. 55

С помощью установки (рис. 55; ДЭ-2, опыт 15) можно исследовать основные свойства колебаний в колебательном контуре. Установка даёт осциллограмму колебаний переменного тока за время в полпериода, т. е. за 0,01 с.

*Опыт 1.* Передвинем влево ползунок реостата, т. е. выключим его сопротивление. На

экране электронного осциллографа ЭО будет наблюдаться график изменения силы тока в контуре. Это график колебаний с уменьшением амплитуды. **Вывод:** свободные электромагнитные колебания в контуре затухают. Строго говоря, затухающие колебания нельзя назвать гармоническими. Причина затухания свободных колебаний — существование активного сопротивления проводников, катушки. Часть энергии электромагнитного поля при каждом колебании превращается в тепловую.

*Опыт 2.* Как будут изменяться колебания, если увеличить активное сопротивление колебательного контура? Это делают с помощью реостата. (На экране осциллографа колебания затухают, при большом сопротивлении их нет.)

*Опыт 3.* Какие изменения в колебательных процессах произойдут, если увеличить электроёмкость конденсатора?

С помощью формулы Томсона можно теоретически предсказать один из результатов опыта — это увеличение периода колебаний. Но на осциллограмме и амплитуда колебаний увеличива-

ется. Теоретически это можно объяснить так:  $I_m = \frac{q_m}{\sqrt{LC}}$ , а  $q_m = CU$ . В итоге получаем  $I_m = \frac{\sqrt{C}}{\sqrt{L}}U$ . При постоянных значениях  $L$  и  $U$  амплитудное значение силы тока зависит от электроёмкости, что и подтверждает опыт.

*Опыт 4.* Какие изменения в колебательных процессах происходят при изменении индуктивности катушки? Как можно изменить индуктивность? (В катушку помещают ферритовый стержень, обычный металлический стержень.) Каким способом можно получить высокочастотные колебания? (На эти вопросы во многих случаях можно проще и нагляднее получить ответ с помощью эксперимента, чем с помощью теории.) Во второй части урока может быть организована самостоятельная работа (на 15—20 мин).

## Самостоятельная работа

### Вариант I

1. Чем различаются электромагнитные колебания в одинаковых идеальных колебательных контурах, если конденсаторы были за-



ражены от источников тока с разными ЭДС? Ответ поясните графиком.

2. Определите период электромагнитных колебаний в контуре с катушкой индуктивностью  $2 \cdot 10^{-2}$  Гн и конденсатором, выданным учителем.

### Вариант II

1. Чем могут различаться электромагнитные колебания в одинаковых колебательных контурах, но с разными активными сопротивлениями? Ответ поясните графиками.
2. Сколько колебаний произойдёт в колебательном контуре за время, равное 2 с, если ёмкость конденсатора равна 800 пФ, а индуктивность катушки равна 2 мкГн?

Домашнее задание: § 20\*; II., № 645, 647.

## Урок 5\*. Автоколебания. Генератор незатухающих колебаний

**Задачи урока:** рассмотреть новый вид колебательной системы — автоколебательную систему; изучить свойства автоколебаний; изучить генератор незатухающих колебаний.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение изученного материала	10	Решение задач. Фронтальный опрос
II. Изучение нового материала: понятие об автоколебательной системе, принцип работы клапана, устройство и принцип работы генератора на транзисторе	25	Рассказ учителя. Демонстрации. Работа с учебником. Записи в тетрадях. Беседа
III. Подведение итогов. Домашнее задание	7—10	Повторение. Выделение главного

Урок проводят и после изучения переменного тока (см. учебник), однако все три вида колебаний можно рассмотреть вместе.

I. Повторяют домашние задачи, фронтально — основные представления об электромагнитных колебаниях и средствах их описания. Письменно один из школьников решает задачу.

Сколько колебаний произойдёт в контуре за время, равное 2 с, если ёмкость конденсатора равна 4800 пФ, а индуктивность катушки равна 1 мкГн?

II. Новый материал достаточно сложный и объёмный, поэтому следует точно выстроить логику его изучения. При первом прочтении дать материал кратко.

1. В реальном колебательном контуре электромагнитные колебания всегда и достаточно быстро затухают. Во-первых, по-

тому что всегда есть активное сопротивление и постоянно идёт превращение части энергии электромагнитного поля во внутреннюю энергию. А это безвозвратная потеря энергии. Во-вторых, обычно в колебательном контуре за время, равное 1 с, происходит много колебаний, и поэтому запасённая энергия быстро теряется. Но на практике важно иметь постоянные колебания. Как быть? Так формулируется *учебная проблема* урока.

2. Для получения длительных во времени колебаний колебательную систему расширяют, включая в неё источник тока (источник энергии) и специальный клапан (рис. 4.27 учебника). Клапан нужен для того, чтобы быстро и вовремя сообщать энергию в колебательный контур. Внешнее управление для этого не годится: например, не получится включать и выключать ключ. Используют внутреннее управление: сам колебательный контур периодически включает и выключает клапан. Такой механизм управления называют **положительной обратной связью**. (О роли положительной обратной связи в природе можно подготовить реферат.)

3. В качестве ключа используют так называемый **генератор на транзисторе** (рис. 4.25, 4.26 учебника). Катушка  $L_{\text{св}}$  связи включена так, что в первую часть периода при возрастании тока в катушке  $L$ , а значит, и в катушке  $L_{\text{св}}$  на базе транзистора оказывается потенциал, отпирающий транзистор. При этом ток от батареи поддерживает ток в колебательном контуре, т. е. в контур сообщается энергия. Так продолжается полпериода колебаний. Во вторую часть периода транзистор заперт. (Схема цепи дана на рисунке 56.) Резисторы  $R1$  и  $R2$  специально подбирают. Колебания звуковой частоты можно регистрировать и с помощью гальванометра в цепи контура; подробнее см.: ФЭ-2, с. 51.

*Опыты* ставят после рассмотрения принципиальной схемы генератора по учебнику (рисунок может быть дан на доске), для выявления в экспериментах свойств автоколебаний используется беседа. Примерные *вопросы*: как доказать, что частота автоколебаний зависит от параметров колебательного контура? (О т в е т.

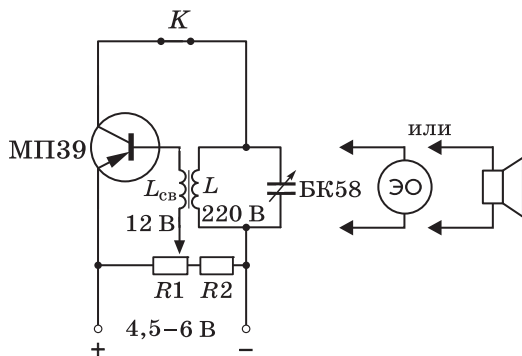


Рис. 56

Изменять индуктивность и ёмкость контура.) От чего зависит амплитуда колебаний? (О т в е т. От активного сопротивления контура, от ЭДС источника тока, от эффективности обратной связи.) Зависит ли она от источника энергии и от характера обратной связи? (О т в е т. Да.)

**Выводы.** Колебательная система, которая способна поддерживать свои колебания с постоянной амплитудой, называется **автоколебательной системой**. Можно выделить следующие основные свойства автоколебаний: а) колебания существуют относительно долго, пока есть энергия в источнике тока; б) частота автоколебаний равна частоте собственных колебаний контура; в) амплитуда электромагнитных колебаний в контуре зависит от напряжения источника тока, активного сопротивления контура, вида обратной связи. Автоколебания в отличие от свободных колебаний являются вынужденными колебаниями.

**III. Вопросы** для повторения: чем отличаются автоколебания от свободных и вынужденных электромагнитных колебаний? Какой элемент цепи (см. рис. 4.26 учебника) обеспечивает обратную связь? Какой элемент цепи используется как клапан? Что будет происходить, если катушку  $L_{\text{св}}$  снять с сердечника? (Теоретический ответ по схеме и опыт.) От чего зависят частота и амплитуда автоколебаний? Является ли колебательный контур в автоколебательной системе замкнутой системой? Сохраняется ли в нём энергия? Предположите, что произойдёт с колебаниями, если ключ разомкнуть (см. рис. 56). (При обобщении знаний используется таблица 14.)

*Домашнее задание:* § 25; упр. на с. 85 (2).

## Урок 6. Переменный электрический ток

**Задачи урока:** ввести понятие о новом явлении — переменном электрическом токе, изучить принцип получения переменного электрического тока, рассмотреть важнейшие характеристики переменного тока; продолжить формирование познавательных мотивов и умения решать задачи.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Изучение нового материала: значение незатухающих колебаний, понятие о переменном токе, принцип работы генератора	20—25	Рассказ учителя. Демонстрация. Работа с учебником. Записи в тетрадях. Беседа
<b>II.</b> Повторение и закрепление изученного материала	15—20	Решение задач. Беседа
<b>III.</b> Домашнее задание	1—2	Запись на доске

# Электромагнитные колебания

## Факты

- Определение электромагнитных колебаний — периодические изменения  $q, i, u$
- Свойства
- Характеристики

Свободные

Затухающие

Разной частоты (периода), амплитуды

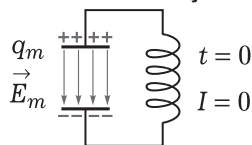
Разной начальной энергии

 $\nu, T, I_m, q_m$ 

$$W_{\text{э}} = \frac{q_m^2}{2C}$$

## Модель (теоретическое описание колебаний)

- Колебательный контур — замкнутая физическая система, отсюда  $E = \text{const}$

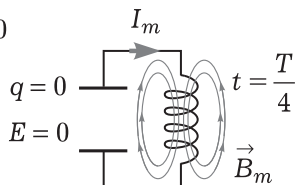


Вид закона сохранения энергии

$$\frac{Li^2}{2} + \frac{q}{2C} = \text{const}; \quad \left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q}{2C}\right)' = 0$$

- Уравнение колебаний

$$q'' = -\frac{1}{LC}q$$



## Следствия

- Решение уравнения колебаний

$$q = q_m \cos \omega_0 t; \quad i = I_m \cos \left( \omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right); \quad \omega_0 = 2\pi\nu = \frac{1}{\sqrt{LC}};$$

$$T = \frac{1}{\nu}; \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

**I. Постановка учебной проблемы.** При открытии и изучении физических явлений учёные исследуют возможности использования данного явления для нужд людей. В частности, уместен *вопрос*: можно ли получить постоянные во времени электромагнитные колебания и использовать их? Очевидно, что такие колебания не могут быть свободными. Последние всегда затухают. Какие это колебания и как их получить?

**Вынужденными** электромагнитными колебаниями называют колебания силы тока и напряжения в электрической цепи под действием переменной ЭДС от внешнего источника тока. Такие колебания называют **переменным электрическим током**. Значит, переменный электрический ток может существовать в любых электрических системах, например на участке любого проводника или на лампочке.

Рассмотрим некоторые характеристики переменного электрического тока осветительной сети: амплитуда, период и частота колебаний, мгновенные и действующие значения тока и напряжения. (Учитель демонстрирует осциллограмму, сообщает значения частоты, отмечает квазистационарность электрического поля переменного тока.)

Итак, для существования переменного тока на участке цепи обязательно надо иметь внешний источник переменной ЭДС. Таким источником является **генератор переменного тока**. (Далее на основе материала учебника рассматривают принцип работы и устройство генератора; рисунок 4.9 учебника и формулы записывают в тетради.)

**II. Решение задач** остаётся важнейшим средством усвоения содержания материала, логики познания рассматриваемых явлений. Важен не только подбор задач, важны идея и последовательность их решения, дополнительные вопросы и др. Приведём пример з а д а ч и.

Напряжение переменного тока изменяется по закону  $u = 140 \sin 314t$ . Определите частоту переменного тока, период и амплитудное значение напряжения. Можно ли предсказать, чему будет равно напряжение через время, равное 10 с?

**III. Домашнее задание:** § 21; П., № 654.

## **Урок 7. Электрический ток на участке цепи с резистором. Решение задач**

**Задачи урока:** изучить особенности переменного электрического тока на участке цепи с резистором; рассмотреть преобразования энергии на таком участке; ввести понятия о действующем значении силы тока и напряжения; выяснить применимость закона Ома для участка цепи переменного тока с резистором; продолжить формирование умений выделять и описывать переменный ток.

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение теоретического материала	7—10	Рассказ ученика у доски. Ответы на вопросы
II. Изучение нового материала	15—20	Работа с учебником. Записи в тетрадах. Консультация
III. Повторение и отработка изученного материала	15—20	Решение экспериментальных задач. Беседа
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Повторение изученного материала.

II. Учитель ставит *учебную проблему* урока, называет форму работы — *самостоятельная работа* с учебником, обращает внимание школьников на структурные элементы текста параграфа учебника (с. 88—90), конкретизирует задачи деятельности (выделение характеристик переменного тока на участке с резистором, в частности мгновенных и действующих значений напряжения и силы тока на этом участке).

III. Вначале следует фронтальное повторение (проговаривание) рассмотренного материала по *вопросам*: что такое активное сопротивление? Что на участке цепи создаёт внешнее напряжение  $u = U_m \cos \omega t$ ? (О т в е т. Электрическое поле, которое изменяется по такому же закону.) Одинаковы ли фазы колебаний, графики которых изображены на рисунке 4.11 учебника? Какую работу совершает переменный электрический ток на резисторе за период? Как определяют действующее значение силы тока? Для чего это нужно? Какие величины регистрируют амперметр и вольтметр переменного тока?

Для отработки изученного материала решают з а д а ч и.

1. На демонстрационном столе собрана электрическая цепь из реостата на 100 Ом, амперметра на 5 А, вольтметра на 50 В, источника переменного тока на 42 В, ключа. Определите амплитудные значения силы тока и напряжения на реостате. Определите потребляемую энергию за время, равное 1 с. Запишите уравнения силы тока и напряжения на резисторе.
2. На демонстрационном столе собрана установка из звукового генератора (выход 5 Ом), лампочки накаливания на 3,5 В на подставке, ключа. Определите, зависит ли мощность, выделяемая на резисторе, от частоты переменного тока.
3. Напряжение зажигания неоновой лампочки 100 В. При каком действующем напряжении в цепи переменного тока она будет гореть?

IV. *Домашнее задание*: § 21; упр. на с. 90 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 656, 657.

## Урок 8\*. Переменный электрический ток на участке цепи с конденсатором

I. Урок можно построить по аналогии с предыдущим. *Учебная проблема* урока формулируется так: эксперимент убедительно доказывает, что лампочка в цепи переменного тока с конденсатором горит, а в цепи постоянного тока нет (демонстрируется известный опыт). Как это теоретически объяснить? (Учитель организует самостоятельную работу с учебником.)

II. При отработке знаний сначала фронтально обсуждают *вопросы*: как изменяется за период заряд на конденсаторе (рис. 4.15 учебника)? Какое поле создаёт в электрической цепи источник тока напряжением  $u = U_m \cos \omega t$ ? Изменяется ли оно с течением времени? Меняется ли сдвиг фаз между током и напряжением с течением времени (с увеличением частоты подаваемого напряжения)? В одинаковой ли фазе происходят колебания силы тока и напряжения на участке цепи с конденсатором? Как определяют ёмкостное сопротивление? Зависит ли оно от частоты? Если да, то как?

З а д а ч и для коллективного решения.

1. Как с помощью установки (рис. 57) экспериментально доказать, что ёмкостное сопротивление зависит от частоты электрического тока и ёмкости участка цепи?

Теоретически предскажите результаты следующих опытов: а) как будет гореть лампочка при увеличении ёмкости; б) как будет гореть лампочка при увеличении частоты колебаний. Рассчитайте ёмкостное сопротивление конденсатора при двух разных значениях  $C$  и  $\omega$ .

2. Определите сопротивление конденсатора в цепи переменного тока с частотой 50 Гц, если его ёмкость равна 4 мкФ.

3. П., № 659.

**Дополнительно.** Желательно аналогично случаю с резистором определить, как изменяется мощность на участке цепи с конденсатором. Для этого получим формулу для мгновенной мощности:

$$P = iu = I_m U_m \cos \omega t \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = -\frac{I_m U_m}{2} \sin 2\omega t.$$

График этой функции изображён на рисунке 58. Для сравнения приведён график силы тока. Колебания мощности происхо-

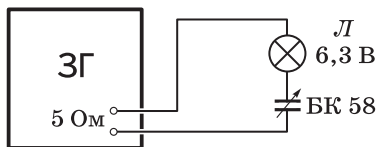


Рис. 57

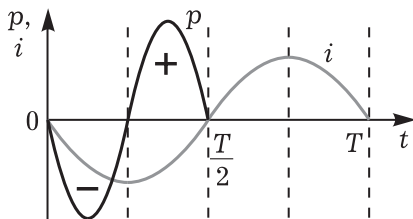


Рис. 58

дят по гармоническому закону, но с частотой, в два раза большей, чем частота колебаний силы тока. График расположен симметрично относительно оси времени, поэтому первую половину периода участок цепи с конденсатором поглощает энергию, а вторую половину — отдаёт энергию внешней цепи. В среднем за период энергия не расходуется: сколько поступает, столько же и уходит.

**III. Домашнее задание:** § 22\*, 24\* (1, 2); упр. на с. 100 (2); индивидуально — П., № 660.

## Урок 9\*. Решение задач (резерв учителя)

## Урок 10\*. Электрический ток на участке цепи с катушкой индуктивности

**Задачи урока:** изучить явление переменного электрического тока в цепи с катушкой; продолжить формирование умений выделять и описывать физические явления, выражать свои мысли в устной и письменной речи.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Повторение: ёмкость в цепи переменного тока, явление электромагнитной индукции	10	Фронтальный опрос
<b>II.</b> Изучение нового материала. Повторение и отработка изученного материала	25—30	Рассказ учителя. Демонстрация. Работа с учебником. Записи в тетрадях. Беседа. Решение задач
<b>III.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	3—5	Выделение главного

**I.** Повторение.

**II.** Приведём план организации изучения нового материала.

1. Учитель формулирует *учебную проблему* урока: что происходит с переменным электрическим током на участке электрической цепи с катушкой индуктивности. Для простоты рассмотрения предполагается, что активное сопротивление отсутствует. На участок подаётся переменное напряжение  $u = U_m \cos \omega t$  (рис. 4.17 учебника). На основе известных знаний дадим теоретическое обоснование происходящего процесса.

Итак, в катушке возникает переменное электрическое поле и проходит переменный электрический ток, который создаёт около катушки переменное магнитное поле. Последнее (по закону электромагнитной индукции) создаёт в катушке индуцированное электрическое поле. Оно (по правилу Ленца) всегда препятствует



изменению силы тока в цепи. В учебнике зафиксировано, что при условии равенства нулю активного сопротивления внешнее электрическое поле должно компенсироваться индуцированным электрическим полем в каждый момент времени (с. 93 учебника). Почему? Потому что в противном случае даже небольшое напряжение  $U$  по закону Ома приводило бы к большим значениям силы тока  $I$ . Значит,  $u = -e$ .

2. Далее предлагаем несколько иную, чем в учебнике, логику рассмотрения содержания.

Если  $u = U_m \cos \omega t$ , а  $e = -Li'$ , то

$$U_m \cos \omega t = Li'.$$

По какому же закону изменяется сила тока  $i$  на участке цепи с катушкой индуктивности? Для ответа на вопрос надо решить полученное уравнение. Предположим, что сила тока изменяется по закону  $i = I_m \sin \omega t$ . Возьмём от этого выражения производную и подставим в уравнение. Получим  $U_m \cos \omega t = LI_m \omega \cos \omega t$ , отсюда

$$I_m = \frac{U_m}{L\omega}$$

В итоге при таком значении амплитуды силы тока мы верно определили уравнение колебаний силы тока в цепи с катушкой

индуктивности. При сравнении выражений  $I_m = \frac{U_m}{L\omega}$  и  $I_m = \frac{U_m}{R}$  получаем:  $R = L\omega$ .

Приводят определение **индуктивного сопротивления**.

3. Углубление знаний организуется при решении **задач**.

1. Определите сдвиг фаз между током и напряжением на участке цепи с катушкой индуктивности. Постройте графики.
2. Как и почему изменяется накал лампочки при изменении частоты переменного тока (рис. 59)? Что и почему происходит с накалом лампочки при внесении в катушку сердечника? Выскажите гипотезу: может ли при изменении частоты переменного тока накал лампочки изменяться даже при отсутствии катушки? (Подсказка. При больших значениях частоты тока у лампочки накаливания проявляется индуктивное сопротивление.)

3. **Задача:** П., № 662.

**Дополнительно.** Исследуем, как изменяется мощность в цепи электрического тока с катушкой индуктивности. Для этого получим формулу для мгновенной мощности:

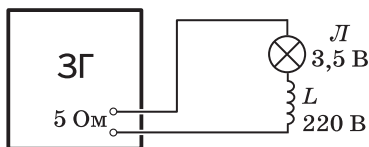


Рис. 59

$$P = iu = I_m U_m \cos \omega t \sin \omega t = \frac{I_m U_m}{2} \sin 2\omega t.$$

На рисунке (выполняется на доске) показываем график мощности. В первой половине периода энергия положительная, т. е. она поступает в цепь от внешнего источника тока. Во вто-

рой половине периода энергия отрицательная, т. е. цепь отдаёт энергию, запасённую в форме энергии магнитного поля катушки. В среднем за период мощность (и энергия) равна нулю. Катушка индуктивности не потребляет электрической энергии, и в этом состоит особенность индуктивного сопротивления.

**III.** При подведении итогов повторяют *вопросы*: почему колебания напряжения на участке индуктивного сопротивления опережают по фазе колебания силы тока? В чём сходство и различия переменного тока на участках с ёмкостью и индуктивностью? От чего зависит индуктивное сопротивление? Есть ли индуктивное сопротивление у проводника? Можно ли при известной частоте тока по показаниям амперметра и вольтметра определить индуктивность катушки?

*Домашнее задание:* § 22\*; упр. на с. 95 (ЕГЭ); упр. на с. 100 (3).

## Урок 11. Переменный электрический ток на реальном участке цепи. Резонанс

**Задачи урока:** ввести понятие о реальном участке цепи; сформировать представление о резонансе, изучить средства его описания; продолжить формирование познавательных мотивов, умения решать задачи.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Повторение домашнего задания. Актуализация знаний	10—12	Решение задач. Работа с таблицей. Фронтальное повторение
<b>II.</b> Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Демонстрация опыта. Записи на доске и в тетрадях. Беседа
<b>III.</b> Совершенствование знаний	10—13	Решение качественных и экспериментальных задач
<b>IV.</b> Домашнее задание	1—2	Запись на доске

**I.** У доски решают задачу, подобную домашней. Фронтально повторяют *вопросы*: что такое индуктивное сопротивление? Одинаковая ли фаза колебаний силы тока и напряжения на участке с катушкой индуктивности? Как это изобразить графически? (Один из школьников выполняет рисунок на доске.) Чему равна напряжённость электрического поля в катушке? Почему? Как изменяются сила тока и напряжение на катушке? Почему свободные механические колебания затухают? Вспомним, при каких условиях происходит явление резонанса при вынужденных колебаниях математического маятника. (Учитель демонстрирует

опыт.) Как вы думаете, что играет роль внешней силы при переменном электрическом токе на участке цепи?

II. При рассмотрении новой темы учитывают последовательность изложения материала в учебнике, логику системного подхода при изучении явлений: система — участок цепи с активным, индуктивным и ёмкостным сопротивлениями; явление — резонанс; характеристики явления — резонансная частота, резонансная амплитуда силы тока, зависимость силы тока от частоты и активного сопротивления; теоретический и экспериментальный методы изучения явления.

1. Ранее речь шла о переменном электрическом токе на участке цепи с одним из возможных сопротивлений. В действительности участок цепи, по которому идёт переменный электрический ток, обладает свойствами активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений, правда, в разной степени. В каких-то случаях тем или иным сопротивлением можно пренебречь — в зависимости от решаемой задачи.

На реальном участке цепи, т. е. с активным, индуктивным и ёмкостным сопротивлениями, могут происходить новые физические явления. Одно из важных — **резонанс**. Описывают переменный электрический ток на таком участке цепи (рис. 60).

(Схему цепи изображают на доске и в тетрадах.) Участок цепи представляет собой последовательное соединение трёх элементов с тремя видами сопротивлений. Отношения между физическими величинами для такого участка цепи значительно сложнее, поэтому стоит рассмотреть главные результаты.

2. После определения резонанса экспериментально демонстрируют само явление (см. рис. 60). *Вопросы* для организации беседы: на каком участке цепи мы исследуем поведение переменного электрического тока? Как регистрируется изменение силы тока? (О т в е т. Лампочка обладает активным сопротивлением, её накал определяется выделяемой энергией в единицу времени:  $P = I^2 R$ ; увеличивается накал лампочки, значит, сила тока возрастает.) Какие условия (факторы) мы меняем при проведении опыта? (О т в е т. Частоту внешнего переменного напряжения от звукового генератора.) Зависит ли сила тока на рассматриваемом участке цепи от частоты? Если зависит, то как? (О т в е т. Сначала возрастает, а затем убывает.)

3. Напряжение, подаваемое внешним генератором, в любой момент времени равно сумме напряжений на участках цепи:  $U = U_R + U_L + U_C$ . Сила тока по закону последовательного соединения одинакова на всех участках:  $i = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ . На разных участках цепи между силой тока и напряжением есть свой сдвиг фаз, так как напряжение на каждом участке своё.

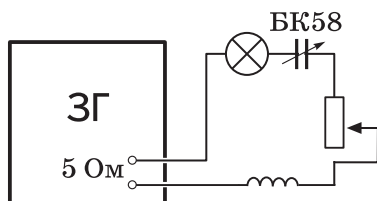


Рис. 60

Общее сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2},$$

где  $R_L = L\omega$ ,  $R_C = \frac{1}{C\omega}$ .

Важно подчеркнуть, что для такой цепи переменного тока неприменимо простое суммирование сопротивлений. Для максимальных (и действующих) значений выполняется закон Ома в следующей форме:

$$I_m = \frac{U_m}{Z}.$$

Отсюда и условие, при котором наступает резонанс: сила тока максимальна при минимальном значении полного сопротивления участка цепи, т. е. когда  $R_L = R_C$ . Это происходит, если частота внешнего напряжения  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ . А это, по определению,

как раз собственная частота колебательного контура.

При резонансе цепь фактически состоит только из активного сопротивления, т. е. нет сдвига фаз между силой тока и напряжением, хотя до и после резонанса этот сдвиг фаз есть.

4. Зависит ли возрастание силы тока при резонансе от значения активного сопротивления? Из уравнения видно, что зависит. Как экспериментально подтвердить это заключение? (Демонстрируют *опыт*: при условии резонанса увеличивают активное сопротивление — см. рис. 60.) Параллельно, опираясь на материал учебника (рис. 4.20), изображают график. *Вопросы* для обсуждения: при каком условии сила тока при резонансе будет максимальной? Какое значение силы тока в идеальном случае предсказывает теория? Наблюдается ли это на практике?

Очевидно, в реальных цепях переменного тока резонанс может быть опасен. Обычно частота внешних колебаний напряжения не изменяется, но зато часто меняются параметры цепи  $L$  и  $C$ . При этом неожиданно может возникнуть условие резонанса. Резкое возрастание силы тока может сжечь электронные схемы приборов. Применение явления резонанса в радиосвязи описано в учебнике.

5. **Дополнительно.** Наконец необходимо выяснить, что происходит с энергией на участке цепи при условии резонанса. Во-первых, в цепях переменного тока не вся поступающая извне энергия может потребляться. Часть её может возвращаться генератору. Во-вторых, потребление энергии зависит от характера нагрузки. Например, на активном сопротивлении потребляется вся поступающая энергия. Для расчёта среднего значения мощности было получено выражение

$$P = IU \cos \varphi,$$

где  $\varphi$  — угол сдвига фаз между силой тока и напряжением. Значение  $\cos \varphi$  показывает, какая часть поступающей в цепь электрической энергии преобразуется в другие виды. Эту величину называют **коэффициентом использования мощности**.

В электротехнике существует целое направление поиска средств повышения  $\cos \varphi$  для конкретных электрических цепей. Например, увеличение  $\cos \varphi$  от 0,2 до 0,8 равносильно повышению использования мощности в четыре раза! Как можно повысить коэффициент мощности? Раз  $\varphi$  — угол сдвига фаз между током и напряжением, то нужно сделать его как можно меньше. Это достигается подбором (сочетанием) индуктивного и ёмкостного сопротивлений. В частности, в электрической цепи параллельно участку с катушкой индуктивности подключают конденсатор. Подбор конденсатора для сложных участков цепи может быть сложной технической задачей.

**III. Далее коллективно решают з а д а ч и.**

1. Как и почему изменяется накал лампочки при поочерёдном замыкании катушки индуктивности/конденсатора (см. рис. 60)?
2. Учебник, пример решения задачи № 6 на с. 99.
3. П., № 666.

**IV. Домашнее задание:** § 23; упр. на с. 100 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 665, 667.

## **Урок 12\*. Решение задач. Самостоятельная работа**

Приведём вопросы и задания, которые можно использовать на уроке для коллективной и индивидуальной работы.

1. Обобщить знания о переменном токе можно с помощью таблицы 15. *Вопросы* для обобщения: какова природа всех взаимосвязанных изменений силы тока и напряжения? (*О т в е т.* Переменное электрическое поле.) Какие законы выполняются для участка цепи переменного тока? Как создать условия для существования явления резонанса на участке цепи? Почему переменный электрический ток относят к вынужденным электромагнитным колебаниям? Можно ли считать затухающие электромагнитные колебания в контуре переменным током? В результате какого внешнего действия на участке цепи, например с резистором, существует переменный электрический ток? Можно ли считать переменным током электрические колебания, которые происходят не по гармоническому закону? Охарактеризуйте переменный электрический ток, который мы используем дома (уравнения напряжения и силы тока, период, фаза колебаний, амплитудные значения).

2. Опишите устройство, принцип действия амперметра и вольтметра электромагнитной системы. Действующее, мгновенное или амплитудное значение силы тока показывает амперметр? Можно ли с помощью амперметра и вольтметра опреде-

# Переменный электрический ток

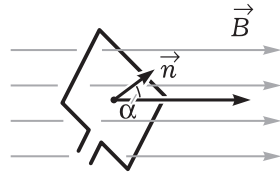
## Факты

- **Определение:** незатухающие вынужденные электромагнитные колебания на участке цепи
- **Принцип получения:** явление электромагнитной индукции при вращении рамки в магнитном поле, т. е.

$$\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos \omega t$$

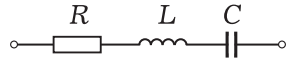
$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \Rightarrow u = U_m \sin \omega t$$

- Понятия  $I$ ,  $U$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $R$  и др.



## Модель

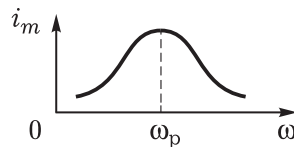
- **Природа** — переменное электромагнитное поле в проводнике
- **Участок цепи** с  $U = U_0 \cos \omega t$
- **Модель участка цепи:** а) только с резистором; б) только с катушкой индуктивности; в) только с конденсатором



- **Закон электромагнитных колебаний**  $q'' = -\frac{1}{LC} q$
- **Закон Ома** для участка цепи  $I = \frac{U}{Z}$

## Следствия

- **Сила тока и напряжение** на участке цепи, **мощность** на участке цепи
- Явление **резонанса**, его закономерности
- Устройство **генератора** переменного тока
- Работа **трансформатора**, расчёты **цепей**



лить сопротивление данного резистора и потребляемую им мощность? Если да, то как?

3. Для обнаружения напряжения на участке цепи в быту часто используют пробник. Изучите устройство и принцип действия этого прибора. Можно ли в нём использовать неоновую лампочку, напряжение зажигания которой 300 В?

4. По данным на конденсаторе (он выдаётся) рассчитайте его сопротивление при включении в цепь бытовой осветительной сети. Изменяется ли сопротивление конденсатора с течением времени, или это постоянная величина?

5. Пример решения качественной задачи.

Как и почему изменяется накал лампочек при увеличении частоты переменного тока (рис. 61)?

*Анализ физического явления.* Наблюдаемое физическое явление — переменный электрический ток на участке цепи с конденсатором, на участке цепи с катушкой индуктивности. Лампочки выполняют роль индикаторов. Ток не просто переменный, его частота увеличивается. Как это можно сделать в школьных условиях?

(Можно использовать звуковой генератор в качестве источника переменного напряжения, оборудование подготовлено заранее.)

Изучаемые участки цепи соединены параллельно, напряжение на них подаётся одинаковое. Накал лампочки при её неизменном сопротивлении зависит от силы тока. Значит, надо рассмотреть, как меняется сила тока на каждом из участков цепи.

*Решение.* Сначала рассмотрим, как изменяется сопротивление на каждом участке цепи. Так как  $R_L = L\omega$  и  $R_C = \frac{1}{C\omega}$ , сопротивление на участке  $AB$  уменьшается, а на участке  $CD$  растёт. При одинаковом напряжении сила тока на первом участке возрастает, на втором уменьшается. Лампочка  $L1$  горит ярче, а лампочка  $L2$  — слабее.

*Вопросы для обсуждения при анализе решения:* как изменится накал лампочки в основной цепи? Можно ли подобрать частоту напряжения так, чтобы все три лампочки горели одинаково?

6. Типичные расчётные задачи.

1. Напряжение в цепи переменного тока изменяется по закону  $u = 140 \sin 314t$ . Определите действующее значение напряжения и частоту колебаний силы тока.
2. Напряжение на участке цепи переменного тока изменяется по закону  $u = 210 \sin 314t$ . Определите, какое количество теплоты выделится в электрической плитке сопротивлением 450 Ом за 1 ч работы.

*Домашнее задание:* § 24\* (5); П., № 663, 664.

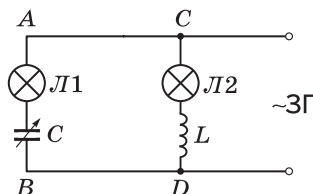


Рис. 61

## Урок 13. Получение переменного электрического тока

**Задачи урока:** повторить принцип получения переменного электрического тока; изучить устройство современного генератора; сформировать представления о получении электроэнергии.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение домашнего задания. Актуализация знаний	10—12	Контроль работы. Фронтальное повторение
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Работа с учебником. Беседа
III. Совершенствование знаний	10—13	Решение задач
IV. Домашнее задание	2	Запись на доске

I. Повторяют решение задач и достаточно подробно принцип получения переменного электрического тока.

II. Материал имеет качественный характер, возможны довольно существенные различия в содержании рассказа учителя.

**1. Мотивация.** Трудно представить существование современной цивилизации без электроэнергии. Если в нашей квартире отключается свет хотя бы на несколько минут, то мы уже испытываем многочисленные неудобства. А что произойдёт при отключении электроэнергии на несколько часов?! Вот почему так важно представлять физические основы получения, передачи и использования переменного электрического тока. Ведь именно переменный электрический ток — основной источник электроэнергии. Энергия в форме энергии переменного электрического тока удобна и с высоким КПД вырабатывается, передаётся и распределяется между потребителями. Затем превращается в другие формы энергии — механическую, тепловую и др.

**2. Устройство и принцип действия генератора** рассматривают на основе материала учебника, желательно продемонстрировать модель, использовать таблицу, другие иллюстрации.

Один из **выводов:** технический современный генератор переменного тока — сложное инженерное устройство. Желательно ориентироваться в наиболее важных характеристиках современных генераторов переменного тока. В таблице 16 приведены данные мощного турбогенератора.

Таблица 16

Характеристика (параметр)	Значение параметра
1. Масса	600 т
2. Мощность	1200 МВт
3. Напряжение на выходе	24 кВ
4. КПД	99%
5. Скорость вращения ротора	3000 об/мин
6. Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,9



В мощных турбогенераторах охлаждение осуществляется с помощью водорода, удельная теплоёмкость которого в 14 раз больше теплоёмкости воздуха. Охлаждённый газ специально прокачивают через зазоры. У гидрогенераторов масса ротора доходит до 800 т! При этом для обеспечения постоянной и точной частоты выходного напряжения ротор должен вращаться с постоянной скоростью. В настоящее время существует множество генераторов с самыми разными параметрами.

**III.** Решают задачу, подобную задаче: П., № 654. Итоги урока подводят во фронтальной беседе по *вопросам*: почему основную часть электроэнергии получают с помощью индукционных генераторов переменного тока? Как принцип действия генератора воплощается в его устройстве? Какие проблемы производства электроэнергии характерны для нашей страны сейчас?

**IV.** Домашнее задание: § 26\* (1-я часть); П., № 661.

## Урок 14. Передача переменного электрического тока. Трансформатор

**Задачи урока:** повторить явление электромагнитной индукции; изучить принцип действия, устройство и применение трансформатора; раскрыть социальную значимость физических знаний.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Повторение домашнего задания	5—7	Работа с таблицей. Фронтальное повторение
<b>II.</b> Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Демонстрация опыта. Записи на доске и в тетрадях. Беседа
<b>III.</b> Совершенствование знаний. Домашнее задание	10	Решение задач

**I.** Фронтальное повторение материала с использованием таблицы 15 (см. с. 88).

**II.** Генератор электрического тока не может накапливать электроэнергию — она должна сразу же передаваться потребителям. Как это осуществляется на практике — *учебная проблема* урока.

**1.** На рисунке 4.32 учебника приведена схема передачи электроэнергии от генератора к потребителям. Почему между генератором и потребителем электроэнергии находится ещё одно устройство — трансформатор? Дело в том, что генераторы большой мощности — 800—1000 МВт — производят токи сравнительно небольшого напряжения — 10—20 кВ, а значит, большой силы тока — до 500 000 А. Такие токи при их передаче

по проводам, согласно закону Джоуля—Ленца  $\Delta P = I^2 R$ , будут сильно нагревать проводник, при этом, естественно, потери электроэнергии будут огромными.

Получим формулу для расчёта потерь электроэнергии при передаче её по проводнику длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $S$ . Из формулы для мощности переменного тока выразим силу тока:

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

и подставим в выражение  $\Delta P = I^2 R$ .

Получим

$$\Delta P = \frac{2\rho P^2 l}{SU^2 \cos^2 \varphi}.$$

При больших, в несколько сот километров, длинах линий передач и большой мощности потери могут быть громадными. Вот почему возникает необходимость в повышении напряжения, увеличении сечения проводников (но тут свои ограничения!), повышении коэффициента мощности.

2. Далее рассматривают устройство и работу трансформатора. При этом сочетают рассказ учителя, работу с учебником, эксперимент, беседу.

Установка для демонстрации принципа действия трансформатора традиционная (рис. 62). Опыты проводят после изучения: а) режима холостого хода (ключ разомкнут); б) при наличии на-

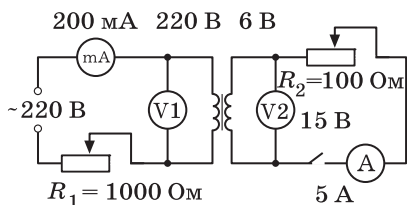


Рис. 62

грузки. *Вопросы* для организации беседы: почему сердечник трансформатора собирают из отдельных листов железа? Почему сердечник называют магнитопроводом? Можно ли сердечник сделать из меди? Каковы основные характеристики трансформатора? Почему так важно знать мощность

трансформатора? Одинаковы ли показания вольтметров в режиме холостого хода трансформатора? От чего зависит ЭДС индукции, которая возникает в каждой обмотке? Будет ли работать трансформатор, если одну из катушек снять с сердечника? Какие изменения в первичной и вторичной цепях происходят при замыкании ключа? Как и почему изменяются показания приборов при возрастании нагрузки?

### III. Решают типичные задачи.

1. Первичная обмотка трансформатора имеет 800 витков. Сколько витков имеет вторичная обмотка, если напряжение понижается от 220 до 6 В?
2. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 10 включён в сеть напряжением 220 В. Определите напряжение на

выходе трансформатора, если сопротивление нагрузки 10 Ом, а сопротивление вторичной катушки 1 Ом.

3. Задачи: П., № 668—670.

*Домашнее задание:* § 26\*, 27\*, 28\* (1); упр. на с. 115 (1, 2); индивидуально — П., № 671.

## Урок 15\*. Использование переменного электрического тока. Решение задач

В начале урока (не более 10 мин) следует краткое рассмотрение нового материала, при этом главное внимание уделяется схеме преобразования энергии (рис. 4.30, 4.31 учебника). Эффективнее всего, работая с учебником, эту схему конкретизировать и занести в тетради. Например, уточняется, что потери при передаче электроэнергии достигают 3—5%, а КПД потребителей колеблется в больших пределах — 10—90%. Важно обратить внимание школьников на то, что механизм передачи энергии по проводам заключается в существовании и распространении электромагнитного поля. Вот почему даже на громадные расстояния электроэнергия передаётся практически мгновенно. *Вопросы* для организации беседы: почему существует проблема передачи электроэнергии на большие расстояния? Почему в энергосистеме необходимо использовать целую систему трансформаторов разной мощности и разного напряжения? Почему стремятся строить единые системы электроснабжения территорий? Каковы особенности электроэнергии? Возможно ли создание единой энергосистемы из генераторов, которые производят переменный электрический ток разной частоты? Почему не получают и не используют переменный электрический ток частотой, скажем, 5 Гц? Почему для современных энергосистем так важен трансформатор? Каков принцип его действия? Каковы основные характеристики трансформатора? Есть ли у вас дома трансформаторы напряжения?

Вторая часть урока отводится на **самостоятельную работу**. Ниже для выбора предлагаем вопросы и задачи.

*Вопросы:* изменится ли накал лампочки, соединённой в цепи переменного тока последовательно с конденсатором, если замкнуть конденсатор? Как поведёт себя трансформатор, если ошибочно вместо переменного к нему подключили постоянный электрический ток?

Задачи.

1. Определите частоту собственных электромагнитных колебаний контура, если индуктивность катушки 1 мГн, а ёмкость конденсатора 100 нФ.
2. Сила тока в первичной обмотке трансформатора равна 0,2 А, а напряжение равно 220 В. Чему равны напряжение и сила тока во вторичной обмотке, если коэффициент трансформации равен 0,1?

3. Дайте определение автоколебаний, с помощью блок-схемы покажите преобразования энергии в такой колебательной системе и изобразите график колебаний силы тока в этой системе.
4. Резонанс в колебательном контуре наступает при частоте внешних колебаний 10 МГц. Определите индуктивность катушки, если электроёмкость конденсатора равна 50 пФ.
5. Трансформатор повышает напряжение от 220 до 660 В. Сколько витков содержит вторичная обмотка, если в первичной 840 витков? В какой из обмоток и почему использован провод большего сечения?
6. Изобразите график колебаний напряжения на конденсаторе в закрытом колебательном контуре. Почему реально электромагнитные колебания в закрытом колебательном контуре затухают?

*Домашнее задание:* § 28\* (3, 4); упр. на с. 115 (3); индивидуально — П., № 672, 673. Индивидуально: построить график суточного потребления электроэнергии в квартире (где живёт сам ученик); определить, какое количество электроэнергии в течение года может оказаться неучтённым, если погрешность квартирного электросчётчика 2,5%.

## Урок 16\*. Конференция «Успехи и проблемы электроэнергетики»

При планировании конференции на неё переносится часть материала предыдущих уроков. Для теоретического изучения вопросов, подготовки рефератов и выступления можно предложить следующие *темы*.

1. Характеристики первичных источников электрической энергии (ветряные, солнечные, термальные, приливные, тепловые и др.).
2. Современные электрогенераторы: технические решения физических идей, параметры, тенденции совершенствования.
3. Современные системы передачи электроэнергии: неравномерность нагрузки и приёмы её сглаживания, обслуживание сетей, аккумуляторные станции и др.; построение схемы распределения электрической мощности в вашем районе.
4. Схема распределения электроэнергии в современной квартире.
5. Экологические проблемы современной энергетики.

Для итогового контроля изучения темы лучше всего организовать зачёт, на котором, кроме устного собеседования, выполняется тест.

## Глава V. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

При кратковременном изучении механических волн важно выбрать экономную логическую последовательность изложения материала. По нашему мнению, проще всего использовать сле-

дующие этапы: а) выделение и определение волн; б) виды волн и их основные свойства; в) характеристики или средства описания волн; г) примеры применения волновых процессов в технике, проявления в природе.

При организации каждого урока следует учесть, что сама последовательность изучения вопроса является предметом усвоения.

## Урок 1. Механические волны

**Задачи урока:** ввести новое понятие — «механическая волна», установить связь между колебательным и волновым процессами, ввести характеристики волн; сформировать умения выделять механические волны, определять их свойства и характеристики.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Организационный момент	1	Сообщение учителя о плане работы. Запись темы урока
<b>II.</b> Изучение нового материала: постановка учебной проблемы, понятие о волне, характеристики волны, виды волн	25—35	Демонстрация явлений. Рассказ и беседа по вопросам. Записи в тетрадях, работа с рисунками учебника
<b>III.</b> Отработка изученного материала	10—15	Самостоятельная работа по наблюдению и описанию волн. Решение задач
<b>IV.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	4—5	Выделение главного с помощью таблиц. Запись на доске и комментарий учителя

**I.** Прежде всего познавательная мотивация в начале урока обеспечивается чёткой постановкой *учебной проблемы*.

В окружающем нас мире многие физические системы могут приходить в колебательное движение. (В качестве примера учитель демонстрирует *опыт* с камертоном без резонаторного ящика.) Наблюдения убеждают, что колебания одной системы могут передаваться другим системам. Так происходит резонанс математических маятников.

Учитель ставит *вопрос*: как передаются колебания от одной системы к другой?

**II.** Приведём последовательность рассматривания нового материала.

**1.** С помощью демонстрации волны на поверхности воды и упругих колебаний на шнуре вводят понятие о волне, о механизме распространения колебаний. При объяснении распространения колебаний на шнуре используют рисунки 5.2, 5.3, 5.5

учебника. Обсуждают *вопросы*: что наблюдается на поверхности воды, если периодически её касается точечный вибратор? На основе чего можно утверждать, что колебания воды, происходящие на поверхности в одном месте, распространяются в другие места? Происходит ли перемещение поплавка рыбацкой удочки, если на поверхности водоёма идут волны? Выскажите гипотезу о причине передачи колебаний от одной точки к другой на резиновом шнуре (поверхности воды).

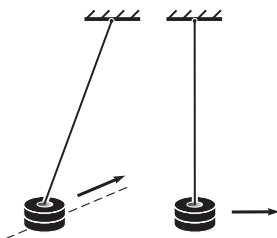


Рис. 63

Передача колебаний от одной частицы к другой возможна лишь при взаимодействии частиц. В этом случае колебательное движение первой частицы приводит к периодическому изменению её действия на вторую частицу и, как следствие, к колебаниям последней. Демонстрационно (или фронтально) можно показать передачу колебаний на примере маятников с керамическими магнитами (рис. 63).

2. Учитель вводит понятия о длине волны (обязателен рисунок, демонстрация на волновой машине), периоде колебаний (как времени, за которое волна распространяется на длину волны), скорости. Формула, связывающая эти величины, записывается в тетради.

Важнейшее свойство волны — передача энергии колебаний. Как с помощью простейших наблюдений доказать, что волна переносит энергию? (Повторяют *опыт* — см. рис. 63.)

3. Волны можно различать по многим параметрам (характеристикам): среде распространения, длине волны и частоте, скорости и т. д. Наиболее существенным является деление волн на основе соотношения направления колебания частиц и направления распространения волны. Выделяют **поперечные** и **продольные** волны. Демонстрируют примеры тех и других волн.

В заключение обращают внимание на профиль волны и его распространение (рис. 5.9 учебника). Ключевой *вопрос* для обсуждения: почему происходит смещение профиля волны?

Краткое повторение изученного материала может быть выполнено по таблице 17. Возможны следующие варианты: учитель повторно рассказывает самое главное; ученики воспроизводят конспект, который был составлен одновременно с изучением нового материала; один из учеников повторяет материал по конспекту.

III. Отработка изученного материала продолжается при выполнении *экспериментального задания* по наблюдению волн на поверхности воды: с небольшой высоты (около 10 см) капают из пипетки на поверхность воды в стакане. По результатам наблюдения в коллективной беседе обсуждают *вопросы*: какую форму имеет фронт образовавшейся волны? Как доказать, что образовавшаяся волна поперечная? Меняется ли со временем скорость распространения волны?

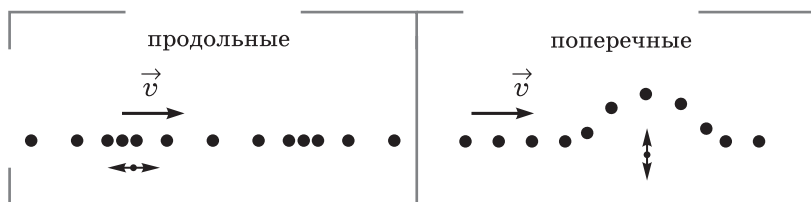
# Механические волны

## Определение

Процесс распространения колебаний от объекта к объекту

## Виды упругих волн

- По механизму передачи колебаний:



- По виду среды распространения: сейсмические, на поверхности воды, звуковые
- По длине волны: короткие, длинные

## Свойства волн

- Распространение в пространстве
- Быстрота колебаний частиц
- Повторяемость формы волны
- Отражение волн и др.

## Характеристики волн

- Скорость переноса энергии
- Частота
- Длина волны
- Закон отражения и др.

Для группового и самостоятельного решения подбираются качественные и расчётные задачи на формулу связи скорости, длины волны и частоты. Примеры задач.

1. На поверхности воды волна распространяется со скоростью 4 м/с. Чему равна частота колебаний поплавка, если длина волны 2 м?

2. Какие точки волны колеблются в одинаковой фазе (рис. 5.5, е учебника)?
3. Оцените длину волны на поверхности воды (рис. 5.1 учебника).

**IV. Домашнее задание:** § 29. В продолжение классной работы индивидуально предлагаются *исследования*.

1. Налейте в тарелку воды. С помощью пипетки капайте воду в середину тарелки. Каков фронт волны, образовавшейся на поверхности воды? Наблюдается ли отражённая от краёв тарелки волна? Каков вид её фронта? Как она распространяется?

2. С помощью пипетки капайте воду ближе к краю тарелки. Наблюдается ли в этом случае отражённая волна? Каков её фронт? Выполните рисунок. В каком направлении распространяется волна?

3. Опустите на поверхность воды какой-нибудь лёгкий предмет (например, чайнку или спичку). Капайте воду из пипетки для образования волны на поверхности воды. Наблюдается ли передвижение чайнки вместе с фронтом волны? В каком движении участвует чайнка?

## Урок 2\*. Уравнение гармонической волны. Решение задач

**Задачи урока:** ввести понятие об уравнении волны; продолжить формирование умений выделять и описывать механические волны.

### Ход урока

I. В начале урока организуют фронтальное повторение изученного материала, при этом используют *эксперимент*. *Вопросы:* что такое волна? Почему возникают волны? Почему колебания распространяются в среде? Какие волновые явления можно выделить? (О т в е т. Распространение, отражение, преломление волн, затухание волны.) Чем отличается поперечная волна от продольной? Как экспериментально определить длину волны?

Почему механическая волна относится к механическим явлениям? (О т в е т. В ней происходит изменение положения частиц в пространстве с течением времени.) Какова основная задача механики? Как решить основную задачу механики для волны — *учебная проблема* урока.

II. С помощью учебника коллективно изучают новый материал. По рисунку 5.10 учебника учитель задаёт *вопросы:* как движется точка А среды, до которой дошла волна? Как определить положение точки в момент времени  $t$ , если она находится на расстоянии  $x$  от источника волны (начала колебаний)? Что надо знать для определения положения точки волны?

О волнах в средах следует доклад двух учеников: один демонстрирует опыты, другой ведёт рассказ. Примерная логика рассказа: а) волны существуют в среде, они сильно зависят от



свойств среды; б) виды волн по форме среды (линейные, плоские, сферические), по виду среды (газы, жидкости, твёрдые тела), по направлению скорости волны и колебаний, по характеристикам (скорости волны, амплитуде, частоте, переносимой энергии и др.); в) примеры распространения волн в природе и использования в технике (электростанции на приливной волне, сёрфинг на морской волне, сейсмографы землетрясений и др.).

Формирование умения описывать механические волны физическими величинами организуется при решении задачи.

Мимо рыболова в лодке прошло 6 гребней волны за 20 с. Определите длину волны. Чему равен период колебаний точек волны, если скорость волны равна 2 м/с?

*Анализ физического явления.*

В условии задачи прямо названо явление — это механическая волна на поверхности воды. Какие волны образуются на поверхности воды: поперечные или продольные? Изобразим график волны (рис. 64). Если наблюдатель находился в точке А, то за время

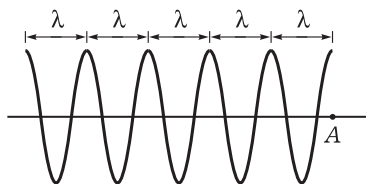


Рис. 64

20 с около него пройдёт вся изображённая часть волны. Вспомним, что такое длина волны. Сколько длин волн укладывается в изображённой волне? Сколько времени по определению нужно волне для распространения на расстояние, равное длине волны?

*План решения.* Зная число прошедших гребней волны и время, можно определить период. По известной скорости и периоду легко найти длину волны на воде.

*Решение.* На рисунке 64 показано, что расстояние между гребнями, наблюдаемыми рыбаком, равно  $5\lambda$ . Тогда период будет равен:

$$T = \frac{20 \text{ с}}{5} = 4 \text{ с.}$$

Длина волны по определению  $\lambda = vT$ , поэтому легко вычисляем:

$$\lambda = 2 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 8 \text{ м.}$$

*Анализ решения.* Почему на практике трудно этим способом определить длину волны? (Ответ. Трудно точно зафиксировать время какого-то числа колебаний.) Индивидуально: чему равна длина математического маятника с таким же периодом колебаний?

Приведём примеры задач для группового и индивидуального решения.

1. Волна на поверхности воды движется вправо (рис. 65). В каком направлении движутся точки А и В?

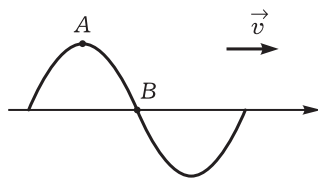


Рис. 65

2. В океанах длина волны достигает 300 м при периоде колебаний 13,5 с. Чему равна скорость такой волны?
3. Почему в твёрдых телах могут распространяться поперечные и продольные волны, а в газах и жидкостях — лишь поперечные?
4. Определите энергию, переносимую плоской волной через единицу поверхности за единицу времени. Поверхность перпендикулярна направлению распространения волны, амплитуда колебаний частиц  $A$ , их масса  $m$ , скорость волны  $v$ , частота колебаний  $\nu$ .

**Решение для учителя.**

Энергия каждой колеблющейся частицы

$$E_0 = \frac{mv^2}{2}.$$

Очевидно, что скорость колебания частиц меняется от нуля до максимального значения. Для приближённого расчёта возьмём среднее значение скорости:

$$v = \frac{2A}{\frac{T}{2}} = \frac{4A}{T} = 4A\nu.$$

Отсюда для энергии получаем

$$E_0 = \frac{m16A^2\nu^2}{2} = 8mA^2\nu^2.$$

Эта энергия от одной частицы передаётся к другой.

За единицу времени через единицу поверхности при концентрации частиц  $n$  пройдёт следующее число частиц:  $\frac{N}{St}$ , где  $N = nV = n(vtS)$ .

Они перенесут энергию  $E = n\nu E_0 = 8n\nu mA^2\nu^2$ .

**III. Домашнее задание:** § 30\*, 32\* (1, 5). Индивидуально — **задача**.

Камень был брошен в озеро со спокойной водой. Как, наблюдая образовавшиеся волны, оценить дальность броска? Какие приборы надо иметь?

**Пояснение для учителя.** Необходимо: а) измерить время от момента падения камня до прихода к берегу образовавшейся волны; б) измерить время существования волн; в) оценить с помощью линейки расстояние между горбами волны; г) определить частоту волны, зная число горбов и время; д) определить скорость, зная частоту и длину волны; определить искомое расстояние, зная скорость и время движения волны.

### Урок 3. Звуковые волны

**Задачи урока:** познакомить с миром звуковых явлений, ввести характеристики звуковых волн, изучить применение звука в быту и технике; сформировать умения выделять и описывать

типичные звуковые явления — распространение, отражение, затухание звука.

### Ход урока

I. Познавательная мотивация и постановка *учебных проблем* урока обеспечиваются кратким рассказом учителя о значении звука в жизни людей.

Мы живём в океане звуков. Человек с дефектом слуха — глухой человек — не знает, что такое музыка, не чувствует тепла голоса любимого друга, не обернётся на сигнал автомобиля...

Эволюция снабдила человека и многих животных органом слуха. С помощью уха человек воспринимает механические колебания определённых частот. Колебания перепонки уха возникают под действием волн, называемых звуковыми.

Что же такое звук? Чем различаются звуки? Каковы наиболее распространённые звуковые явления? Каковы их характеристики? Это *главные проблемы* урока.

II. Ниже приведён возможный вариант организации изучения нового материала.

1. Как доказать, что звук — волна? Нужно посмотреть, не связано ли восприятие звука с колебаниями окружающих тел. Один из школьников демонстрирует *опыты*: звучание камертона, колебание металлической линейки, зажатой в тисках или штативе, и т. п. Раз колебания окружающих тел действуют на наше ухо, значит, они как-то передаются. Как называется процесс передачи колебаний от одной точки среды к другой?

Если звук — волна, то для её распространения необходима среда. Посмотрим, будет ли наблюдаться звук в следующем *опыте* (учитель демонстрирует затухание звука от электрического звонка по мере выкачивания воздуха из-под колокола воздушного насоса).

Как доказать, что звук может распространяться не только в воздухе? Какие опыты можно поставить для доказательства? Для эмоционального восприятия можно поставить известный *опыт* (рис. 66). *Вопрос*: почему на некотором расстоянии от коробки звук от колебаний катушки и нити почти не слышен, а у коробки слышен очень хорошо?

2. Как определить вид звуковой волны: поперечная она или продольная?

Школьники могут высказать гипотезы. В случае затруднений учитель обращает внимание на то, что направление колебаний тела совпадает с направлением распространения волны. Демонстрирует отскакивание теннисного шарика от колеблющегося камертона: камертон на резонаторном ящике возбуждают от динамика, подключённого к звуковому генератору. Теоретическое доказательство:

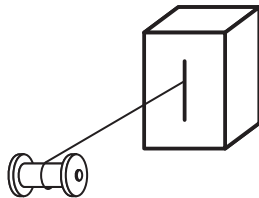


Рис. 66

в газе возможны только продольные волны, так как... Учитель сообщает учащимся механизм распространения звуковых колебаний.

Далее с помощью таблицы 18 организуется знакомство со шкалой звуковых волн.

3. Распространение звуковых волн приводит к целому ряду явлений. Учитель кратко перечисляет явления, по возможности демонстрирует их (табл. 19). Примеры *опытов*: а) отражение звуковой волны рупором; б) поглощение звука от камертона на резонаторном ящике (громкоговорителя, работающего от звукового генератора) листом бумаги, ватой; в) резонанс.

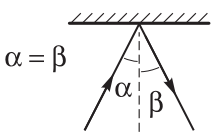
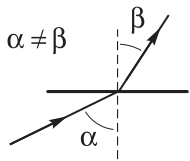
4. Для описания явлений в физике вводят физические величины, формулируют законы. Каковы характеристики звука?

Таблица 18

## Шкала звуковых волн

Источники звука	Техника			
	Выстрелы.	Машины и механизмы.	Струны.	Излучатели на пьезо-эффекте.
	Электрические разряды	Музыкальные инструменты	Сирены.	Магнитострикция
			Свистки	
	20	$2 \cdot 10^4$	$10^9$	$10^{12}$ Гц
	Инфразвук	Звук	Ультразвук	Гиперзвук
	Молнии.	Человек.	Дельфины.	«Тепловой» шум вещества
	Шумы атмосферы и моря.	Животные.	Пчёлы.	
	Сотрясения и вибрации в земной коре	Шум деревьев, скрип снега, вой ветра, гром и др.	Летучие мыши	
	Природа			

Таблица 19

Звуковые явления	Характеристики
Распространение в пространстве	Скорость $v$ , длина волны $\lambda$ , частота $\nu$ , амплитуда $A$
Отражение (эхо)	<p>Угол падения равен углу отражения</p>  <p><math>\alpha = \beta</math></p>
Преломление	<p>Изменение направления распространения при переходе из одной среды в другую</p>  <p><math>\alpha \neq \beta</math></p>
Поглощение звука	Уменьшение амплитуды волны, т. е. рассеяние энергии
Резонанс	Увеличение амплитуды колебаний, передача энергии волне
Действие звука на человека	<p>Громкость (зависит от амплитуды колебаний). Норма для человека 30—40 дБ</p> <p>Тембр (зависит от набора волн разных частот)</p> <p>Высота тона (зависит от частоты)</p>

В зависимости от организации закрепления учитель кратко или более подробно (с использованием таблицы 19) даёт ответ на вопрос. При сравнении скоростей звука используют справочник.

5. Возможно несколько вариантов рассмотрения распространения звуковых явлений в природе и технике: краткое сообщение учителя, выступления школьников, самостоятельное изучение вопроса дома, доклады на следующем уроке. В любом случае необходимо использовать демонстрации: красочные иллюстрации, хрестоматийный материал.

III. Совершенствование знаний продолжается при работе с таблицей 20, решении типичных задач. Материал систематизируют по логике схемы познания явлений. Обсуждают *вопросы*: чем идеальная (модель) звуковая волна отличается от реальной (наблюдаемой) волны? Чем обусловлены различные звуковые явления? Что такое высота тона? Как происходит передача информации с помощью звука?

Предлагаем задачи для работы в классе и дома: П., № 686—688.

IV. Домашнее задание: § 31, 32\* (2, 3); упр. на с. 130 (3). Индивидуально — экспериментальное задание.

Изучите затухание, отражение звуковой волны, используя в качестве источника звука механические часы. Определите расстояние, на которое распространяется звук. Зарисуйте расположение часов, уха и листа бумаги, при котором усиливается звук.

Нескольким учащимся можно дать задание подготовить выступление на тему «Если бы скорость звука уменьшилась...».

Задание для индивидуального выполнения.

Гениальный итальянский физик Г. Галилей в сочинении «Беседы» писал: «Мы можем повысить тон струны тремя способами: укорачиванием, вытягиванием или, скажем, большим натяжением и, наконец, утончением». Подберите оборудование и поставьте опыты, подтверждающие данное высказывание.

## Урок 4\*. Решение задач

**Задачи урока:** сформировать умения выделять и описывать звуковые явления; систематизировать знания о звуке с помощью таблиц.

### Ход урока

1. В начале урока следует уплотнённое повторение материала предыдущего урока. Приведём возможный план.

1. Выполнение у доски индивидуальных заданий.

2. Ответ по теме «Звуковые явления и их характеристики» (письменно воспроизводится таблица 19).

3. Несколько школьников письменно отвечают на *вопросы*: как доказать, что звук — продольная волна? Почему после вы-

# Звуковые явления

## Факты

- Существование звуковых волн
- Шкала звуковых волн
- Звуковые явления (табл. 19)

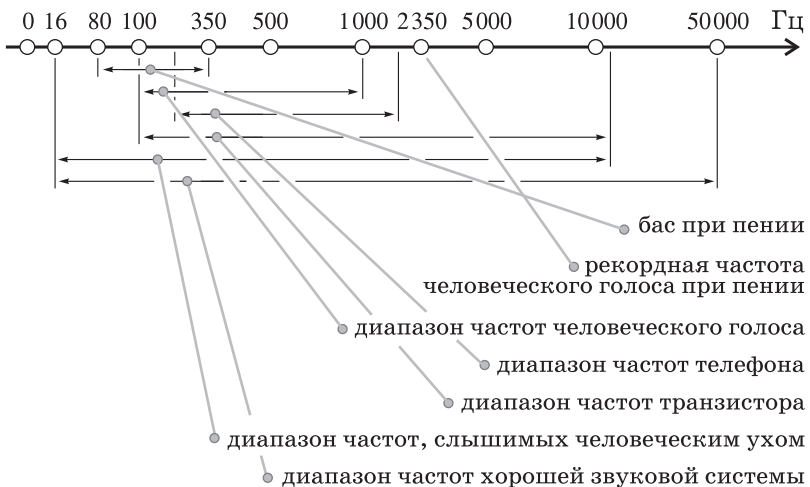
## Модель

- Звук — продольная механическая волна в среде, которую слышит человек
- Уравнение волны, формула  $v = \lambda / T$
- Законы звуковых явлений: отражения, преломления, поглощения и др.
- Характеристики звука: скорость, громкость, тембр, высота тона

## Следствия

- Применение звука: передача информации, эхолот, действие на человека и животных, ударная волна и др.

### Характеристики излучателей звука



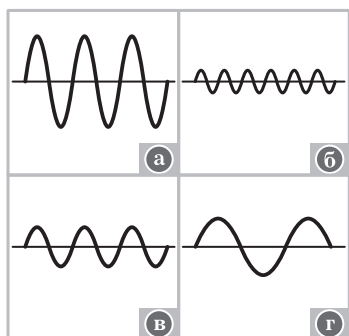


Рис. 67

павшего снега на улицах города заметно тише? Приведите примеры использования звуковых явлений в быту и технике. От чего зависит громкость звука? Как доказать, что звуковая волна переносит энергию?

4. Фронтально повторяют основные *вопросы*: можно ли определить длину звуковой волны, если известна её скорость и частота колебаний частиц? От чего зависит скорость распространения звука? Что такое волна?

5. Один из школьников кратко поясняет таблицу 20.

## II. Проводят самостоятельную работу по вариантам.

### Вариант I

1. Определите длину волны, которая распространяется со скоростью 1000 м/с. Частота колебаний излучателя 10 МГц.
2. По графикам колебаний (рис. 67, а—г) определите: а) наиболее громкий звук; б) звук самого низкого тона. Ответ обоснуйте.

### Вариант II

1. На каком расстоянии от человека ударила молния, если он услышал гром через 5 с? Скорость звука считайте равной 340 м/с.
2. На рисунке 68 изображён график колебаний одной из точек звуковой волны. Определите: а) частоту колебаний; б) длину волны; в) характер звука: музыкальный или шум; г) амплитуду колебаний. Скорость звука считайте равной 340 м/с.

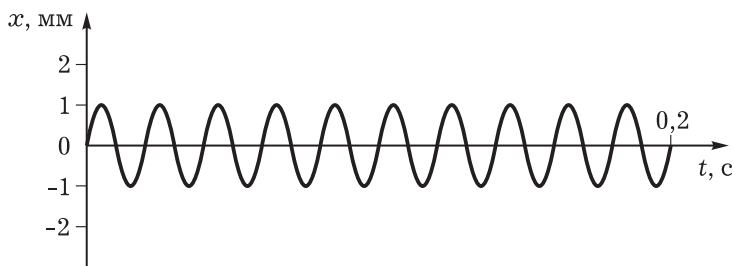


Рис. 68

III. *Домашнее задание*: индивидуально — упр. на с. 130 (1, 2); упр. на с. 130 (ЕГЭ); самое важное в главе; з а д а ч а.

С помощью справочника определите, может ли звук распространяться быстрее ракеты (Справочник, с. 92).

## Урок 5\*. Решение задач (резерв учителя)



## Урок 6. Интерференция механических волн. Решение задач

В начале урока проводят фронтальное повторение свойств механических волн и их характеристик (см. табл. 17). Затем следует постановка *учебной проблемы*: каковы свойства нового физического явления — интерференции волн. Решение проблемы организуют при работе с учебником (с. 131—136): определение явления, его демонстрация и свойства, описание явления (работа с рисунками учебника).

При изучении параграфа составляют конспект по схеме: факты (само явление, его свойства) — теоретическая модель (графики сложения волн, условия максимумов, распределение энергии, уравнения стоячей волны и др.) — следствия (объяснение акустического резонанса, частоты звука струны). При этом коллективно обсуждают вопросы: что называют интерференцией волн? При каких условиях явление наблюдается? Можно ли сложение волн назвать интерференцией? Как характеризуется интерференционная картина? Какие волны называются когерентными? Как образуется стоячая волна? Какой частоты звук может дать струна длиной 1 м?

*Домашнее задание:* § 33, 34\* (1, 2); упр. на с. 139 (1).

## Урок 7. Дифракция и поляризация механических волн. Решение задач

В начале урока повторяют домашнее задание. Затем решают задачи на явление интерференции, например: П., № 756—758.

Явления дифракции и поляризации кратко рассматривают при работе с учебником по следующей логике: свойства явления — его описание (рисунок).

Отработку материала организуют с помощью фронтальной беседы по вопросам: какое волновое явление называют дифракцией? Каково его основное свойство? Наблюдается ли дифракция звуковых волн? Где на рисунке (рис. 5.29 учебника) обозначен фронт волны? Какое явление называют поляризацией механических волн? Каково основное свойство плоскополяризованной волны?

*Домашнее задание:* § 33, 34\* (3, 4); упр. на с. 139 (3); индивидуально — П., № 758.

## Урок 8\*. Повторение. Решение задач (резерв учителя)

*Домашнее задание:* упр. на с. 139 (4, 5).

## Глава VI. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Согласно современной физике, в природе всего два материальных объекта изучения — **вещество** и **поле**. А богатство окружающего мира объясняется разнообразием вещественных образований — от галактик до элементарных частиц и разнообразием проявлений физических полей, в частности электрических и магнитных. В теме рассматривается одно из фундаментальных полей — электромагнитное. Электромагнитная волна — это распространяющееся в пространстве и во времени электромагнитное поле. Основная задача науки — выделить свойства данных физических объектов и найти средства описания свойств. Поэтому целесообразнее сначала изучить свойства электромагнитных волн.

Структура и основные вопросы раздела представлены в таблице 21.

Для учебной деятельности школьников при изучении данной темы характерна большая самостоятельность. При организации работы широко используют такие приёмы, как подготовка доклада, работа с учебником на уроке, решение задач по выбору из задачников и дидактических материалов, повторение демонстрационных опытов, обобщение знаний для подготовки к экзамену и др. На уроках школьники должны чаще проговаривать вслух основные идеи изучаемого материала, уметь приводить доказательства тех или иных теоретических положений. Развитие

Таблица 21

### Структура темы

#### Электромагнитные волны

**Понятия** об электромагнитном поле  
и электромагнитной волне

**Свойства** электромагнитных волн

**Характеристики** (модели, физические величины,  
законы и т. п.) электромагнитных волн

#### Применение электромагнитных волн

#### Элементы радиотехники

Понятие о радиосвязи

Из истории открытия радио

Физические принципы радиосвязи

Состояние и развитие радиосвязи в России и мире

интеллектуальных и практических умений продолжается при составлении задач по результатам опытов, при самостоятельном экспериментировании, составлении обобщающих таблиц и структурно-логических схем.

## Урок 1. Электромагнитная волна

**Задачи урока:** продолжить формирование представлений о взаимосвязи переменных электрических и магнитных полей и существовании единого электромагнитного поля; ввести понятия об электромагнитной волне и передаче электромагнитных взаимодействий; обосновать материальность электромагнитного поля; раскрыть роль гипотезы в научном познании.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Постановка задач урока. Повторение	15	Сообщение учителя. Запись на доске
II. Изучение нового материала: связь переменного магнитного поля и вихревого электрического поля, понятие «единое электромагнитное поле», механизм передачи взаимодействий, существование электромагнитных волн	20—25	Демонстрация опыта. Выполнение рисунков. Беседа. Рассказ. Записи в тетрадях. Работа с учебником
III. Подведение итогов. Домашнее задание	10	Беседа по вопросам. Запись на доске

I. *Вопросы:* какие физические объекты изучены в электродинамике? Какие изучены поля? (О т в е т. Электрическое поле неподвижных зарядов, стационарное электрическое поле, постоянное и переменное магнитные поля. Электромагнитное поле.)

II. Существует ли взаимосвязь электрических и магнитных полей? Для ответа следует вспомнить явление электромагнитной индукции. (Для постановки известного опыта учитель приглашает ученика.) Класс обсуждает *вопросы:* в чём суть явления электромагнитной индукции? Как доказать, что магнитное поле переменное? Связано ли данное электрическое поле с зарядами? Как направлены силовые линии электрического поля? (Для этого выполняют рисунок 69, по которому дают пояснения.) Как будет

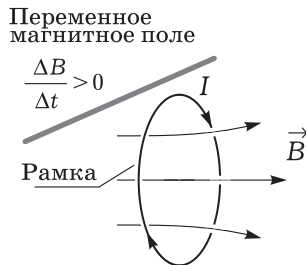


Рис. 69

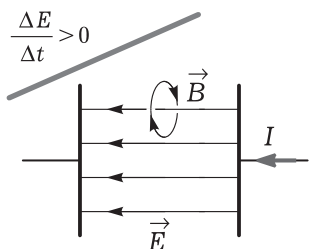


Рис. 70

направлен индукционный ток? (Применяются правило Ленца и правило буравчика.) Как будет направлено вихревое электрическое поле в рамке? (О т в е т. Силовые линии электрического поля будут направлены по току, значит, силовые линии замкнуты.) **Вывод:** любое переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое поле.

Британский физик Дж. Максвелл в 1873 г. высказал *гениальную гипотезу*: переменное электрическое поле должно порождать магнитное поле. Он писал: «...я предпочёл... объяснить взаимодействия между удалёнными друг от друга телами без допущения существования сил, способных непосредственно действовать на заметных расстояниях. Та теория, которую я предлагаю, может быть названа теорией электромагнитного поля...» Суть гипотезы иллюстрируется рисунком 70. Если электрическое поле конденсатора возрастает, то возникает переменное магнитное поле. Проводят опыт, схема

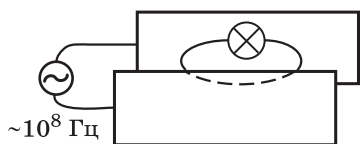


Рис. 71

которого приведена на рисунке 71. Генератор ультравысокой частоты подсоединён к длинным пластинам конденсатора. В переменное электрическое поле конденсатора вводят замкнутый на лампочку накаливания виток. Лампочка загорается благодаря перемен-

ному магнитному полю тока смещения (см.: Майер В. В., Майер Р. В. Экспериментальные доказательства в электродинамике // Учебная физика. — 2003. — № 1).

В итоге теоретических поисков Максвелл сделал вывод о существовании нового объекта — электромагнитного поля. В самом общем случае электромагнитное поле — это динамический процесс порождения переменным электрическим полем магнитного, а затем переменным магнитным полем вихревого электрического поля.

Что же такое электромагнитная волна — основная *учебная проблема* урока.

**Электромагнитная волна** — это и есть единое электромагнитное поле, это процесс распространения с конечной скоростью в пространстве переменных электрических и магнитных полей. Теоретическая модель электромагнитной волны представлена на рисунке 6.6 учебника. В волне по гармоническому закону изменяются векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ , причём во взаимно перпендикулярных плоскостях. На рисунке показано распределение характеристик электрических и магнитных полей в пространстве. С течением времени горбы перемещаются по оси  $Z$  вправо со скоростью  $c$ .

Очевидно, что электромагнитная волна — волна поперечная: колебания  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  происходят перпендикулярно направлению распространения волны.

С помощью электромагнитного поля (волны) происходит взаимодействие зарядов. Механизм (модель близкого действия) заключается в следующем... (Далее излагают материал учебника.)

Опыты по обнаружению электромагнитных волн поставил Герц, но рассказ об этом будет идти на следующем уроке.

**III.** Разбирают *вопросы*: что называют электромагнитным полем? (О т в е т. Физический объект, ответственный за взаимодействие зарядов.) Что такое электромагнитная волна? Как доказать материальность электромагнитного поля? Можно ли называть магнитное поле частным видом электромагнитного поля? В чём значение понятия «электромагнитное поле»? (О т в е т. В установлении единства природы многих явлений, в предсказании новых явлений, в частности распространения электромагнитных волн.)

*Домашнее задание:* § 35; упр. на с. 145 (ЕГЭ); индивидуально — Хрестоматия, с. 107.

## Урок 2\*. Изучение электромагнитных волн. Опыты Герца

**Задачи урока:** изучить процессы в открытом колебательном контуре; познакомить с фундаментальными опытами Герца и раскрыть их значение; рассмотреть причинно-следственные связи в процессе изучения электромагнитной волны.

### Ход урока

**I.** В начале урока учитель обозначает вопросы, на которые после изучения материала надо будет ответить. Этим достигается мотивация деятельности, одновременно сообщается план работы. *Вопросы:* что такое электромагнитное поле? В чём значение этого понятия? Как доказать, что электромагнитное поле действительно существует? Как осуществляются электромагнитные взаимодействия? В чём суть гипотезы Максвелла? Как обеспечить интенсивное излучение электромагнитных волн? Каковы основные характеристики электромагнитной волны? От чего они зависят? Какова принципиальная схема опыта Герца? В чём научное и практическое значение опыта? Каково устройство и принцип действия вибратора Герца?

**II.** Изучение нового материала начинается с выделения определённых понятий.

**З а д а н и е.** Объясните физические явления, происходящие в колебательном контуре (см. рис. 53, 70). *Вопросы для обсуждения:* изменяется ли электрическое поле внутри конденсатора при его разрядке? Аргументируйте ответ. Можно ли считать это

поле вихревым? Порождает ли оно магнитное поле? Может ли переменное магнитное поле порождать вихревое электрическое поле? Излучаются ли в данном случае электромагнитные волны? (О т в е т. В принципе происходит излучение волн, но оно практически ничтожно.) Как обеспечить интенсивное излучение волн?

Далее следует рассказ учителя с элементами беседы. *Вопросы* для организации беседы: может ли равномерно движущийся заряд излучать электромагнитные волны? В каком случае заряд излучает? Зависит ли интенсивность излучения от ускорения? Как можно обеспечить ускоренное движение зарядов? (О т в е т. В колебательном процессе.) Как практически получают электромагнитные колебания? От чего зависит частота колебаний? (Формулу записывает на доске ученик.) Как обеспечить распространение в пространстве электромагнитных волн, возникающих лишь локально в области конденсатора?

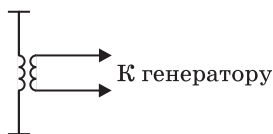


Рис. 72

Далее с помощью рисунка 6.7 учебника вводят понятие об открытом колебательном контуре. Обсуждают *вопрос*: как подвести энергию в контур, чтобы излучение было непрерывным? (О т в е т. Это можно сделать с помощью индуктивной связи — рис. 72.) Как надо менять площадь пластин конденсатора и число витков катушки (чем больше число витков, тем больше индуктивность), чтобы получить высокочастотные колебания? После нескольких предположений учитель формулирует **вывод**: колебательный контур в этом случае имеет вид, показанный на рисунке 6.8 учебника.

Для удобства подвода энергии и создания электромагнитных колебаний провод разрезают посередине, к частям подводят высокое напряжение (рис. 6.9 учебника). Такое устройство получило название «вibrator Герца». На рисунке 73, а приведены схемы *вибратора I* и *резонатора II*, которые использовал Герц. В качестве резонатора или приёмного вибратора используется провод-лока с искровым промежутком. В результате опытов было экспериментально доказано существование электромагнитных волн, чем было блестяще подтверждено теоретическое предсказание Максвелла.

*Опыт 1.* Излучение и приём электромагнитных волн

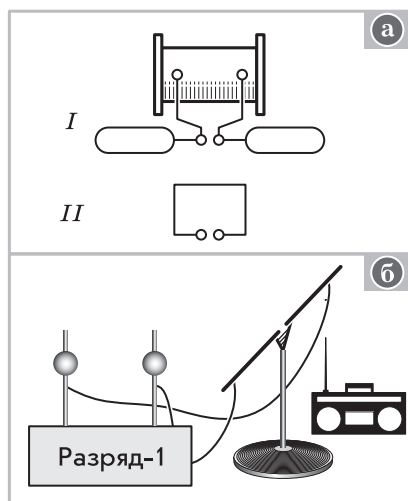


Рис. 73

(ДЭ-2, с. 133). Демонстрация аналогична опытам Герца. Для приёма можно использовать приёмник или осциллограф с дипольной антенной. Структурная схема опыта изображена на рисунке 73, б. Роль диполя могут выполнять просто стержни от прибора «Разряд-1». Обсуждают *вопросы*: как доказать, что приёмник регистрирует действительно электромагнитную волну от вибратора? (О т в е т. Прекратить разряд, экранировать волны металлической пластиной.) Можно ли с помощью установки привести доказательства непрерывности электромагнитного поля?

*Опыт 2.* Демонстрация некоторых свойств электромагнитных волн. *Вопросы* для обсуждения: что можно сказать о частоте электромагнитных волн по виду осциллограммы? При каком расположении приёмного диполя волна регистрируется лучше? Как с помощью опыта доказать, что электромагнитное поле переносит энергию? Почему при удалении приёмного диполя амплитуда сигнала ослабевает? Проходит ли волна через металлический экран?

III. В конце урока школьники письменно с помощью учебника отвечают на вопросы. Оценка работы может быть осуществлена по-разному: взаимопроверка, проверка учителем по выбору, домашняя проверка всех работ двумя школьниками.

IV. Домашнее задание: § 36\* (часть); П., № 693—695.

### Урок 3. Свойства электромагнитных волн

**Задачи урока:** изучить основные свойства электромагнитных волн: непрерывность, затухание, перенос энергии, отражение и преломление; продолжить формирование умений наблюдать физические явления и сравнивать их свойства, строить суждения и умозаключения об изучаемых фактах.

#### Ход урока

I. В начале урока целесообразно краткое повторение изученного материала с целью контроля и совершенствования знаний школьников. Первый ученик ставит и объясняет опыт по изучению электромагнитных волн (см. рис. 73), второй готовит у доски ответ о вибраторе Герца. Фронтально обсуждают *вопросы*: что называют электромагнитным полем? Как передаётся электромагнитное взаимодействие?

II. Изучение нового материала начинается с конкретизации знаний о волнах. *Вопросы*: что называют волной? Распространение каких колебаний происходит в электромагнитной волне? Какие два вида волн изучались? К какому виду относится электромагнитная волна? (Учитель обращает внимание школьников на рисунок 74.)

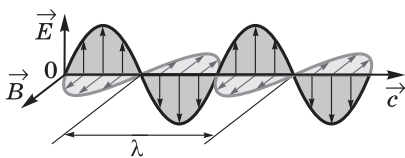


Рис. 74

Далее учитель сообщает, что все волновые явления характеризуются общими свойствами.

Логично следует *вопрос*: какие свойства механических волн мы изучали? В зависимости от ответа последовательно рассматривается проявление этих свойств у электромагнитной волны.

**1. Непрерывность.** *Вопросы*: можно ли указать границу существующей волны? Как доказать, что электромагнитные волны непрерывны? Приводят пример: приём сигнала в разных точках пространства.

**2. Перенос энергии волной.** (Следует краткое повторение ранее изученного материала.)

**3. Затухание волн.** *Вопросы*: почему электромагнитные волны затухают с расстоянием? (О т в е т. Происходит рассеяние энергии волны; энергия волны может расходоваться на колебания заряженных частиц и др.) Чем определяется энергия волны? (О т в е т. Она состоит из энергии электрического и магнитного полей. На доске записывают формулу  $W = W_{\text{э}} + W_{\text{м}}$ .)

Далее вводят понятие «плотность потока излучения». Это физическая величина, характеризующая поток энергии, проходящей за единицу времени через единичную поверхность, перпендикулярную излучению. Учитель записывает формулу

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t} \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right).$$

*Вопрос*: какую ещё характеристику электромагнитного поля мы изучали? В беседе выясняется, что это плотность электромагнитной энергии. Энергия электромагнитного поля (волны) в единице объёма определяется по формуле

$$W = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0}.$$

Второе слагаемое легко получить, используя формулы, рассмотренные в теме «Электромагнитная индукция»:

$$W = \frac{LI^2}{2},$$

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

$$\Phi = NBS = LI.$$

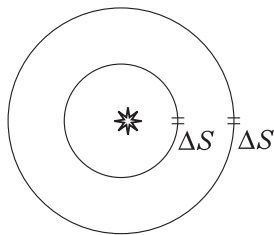


Рис. 75

Перед школьниками учитель ставит задачу: установить связь между двумя энергетическими характеристиками. Для этого используют учебник, делают записи в тетрадях. Обсуждают *вопросы*: от чего зависит плотность потока излучения? Зависит ли плотность потока излучения от расстояния до источника излучения (рис. 75)? Что называют точечным



источником излучения? Зависит ли плотность потока излучения от частоты колебаний заряженных частиц?

При организации беседы дополнительно задают следующие *вопросы*: как зависит напряжённость электрического поля от ускорения излучающих частиц? Как зависит ускорение от частоты колебаний частиц? Как зависит плотность потока излучения от напряжённости электрического поля и магнитной индукции магнитного поля? Какое практическое значение имеет такая сильная зависимость плотности потока излучения от частоты колебаний заряженных частиц?

Учитель сообщает, что впервые понятие о плотности потока энергии использовал выдающийся русский физик Н. А. Умов (1846—1915). Он внёс большой вклад в развитие идеи близкого действия. Основываясь на этой идее, он изучал «движение» энергии в средах.

**4. Отражение и преломление волн.** Демонстрируют опыт с генератором сантиметровых волн (ДЭ-2, опыт 60). На рисунках 76, 77 показаны положения излучателя 1 и приёмника 2 волн. *Вопросы* для обсуждения: почему в первом случае (см. рис. 76) без металлической пластинки приём волн слабый или его совсем нет? При любом ли положении пластинки происходит хороший приём волн? О чём это говорит? (Измерение углов падения и отражения может провести ученик.)

При переходе к изучению явления преломления учитель задаёт *вопросы*: все ли вещества отражают волны? (Опыты с листом бумаги, пластинкой из стекла и др.) Влияют ли неметаллические тела на прохождение волн? (Опыт с призмой 3.) Можно ли электромагнитные волны сфокусировать? (Опыт с плоско-выпуклой линзой из диэлектрика.)

В заключение обсуждают *проблему*: можно ли высказать гипотезу о некоторых общих свойствах света и электромагнитных волн? (О т в е т. В поведении света и электромагнитных волн много общего: отражение, преломление и др.) Первое знакомство с проблемой готовит учащихся в дальнейшем к обобщению.

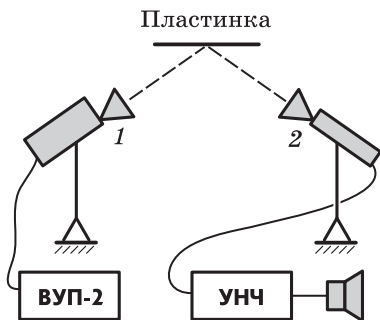


Рис. 76

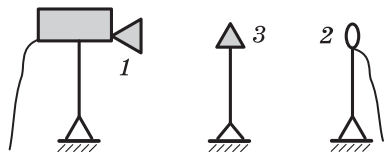


Рис. 77

**III. Закрепление изученного материала** происходит при обсуждении выполнения индивидуальных экспериментальных заданий. В зависимости от наличия времени выступат один или два школьника.

1. Как экспериментально доказать, что электромагнитные волны затухают? (Возможно несколько вариантов решений; например, один из них состоит в использовании электрофорной машины и осциллографа.)
2. Даны две коробки приблизительно одинакового веса и размера. Экспериментально определите, в какой из них и как расположена пластинка из алюминия. Оборудование: генератор сантиметровых волн и приёмник с дипольной антенной, ВУП-2, УНЧ, громкоговоритель.

**IV. Домашнее задание:** § 36\* (часть), 39 (часть); упр. на с. 150 (ЕГЭ). Индивидуальное задание: исследовать с помощью транзисторного радиоприёмника или телевизионного приёмника с комнатной антенной приём электромагнитных волн в вашей комнате. (Примечание. При наличии времени на изучение плотности потока электромагнитного излучения отводится специальный урок.)

## Урок 4\*. Свойства электромагнитных волн (продолжение)

**Задачи урока:** познакомить с основными свойствами электромагнитных волн: интерференцией, дифракцией, поляризацией; продолжить формирование мировоззрения школьников, раскрывая роль теории в объяснении и предсказании опытных фактов.

### Ход урока

Со многих точек зрения желательно познакомить школьников с волновыми свойствами электромагнитных волн. Изучение можно неплохо обеспечить экспериментом.

**I.** Для подготовки учащихся к рассмотрению нового материала целесообразно кратко повторить *вопросы*: какие свойства электромагнитных волн изучили? Как экспериментально доказать существование электромагнитных волн? Как меняется плотность потока энергии в зависимости от расстояния до источника волн?

**II.** На уроке используют определённую последовательность изучения интерференции, дифракции, поляризации: определение и демонстрация явления, основные свойства и их характеристики.

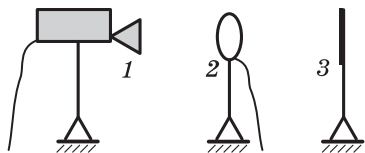


Рис. 78

**1. Интерференция.** Учитель ставит эксперимент по наблюдению явления (рис. 78), формулирует *проблему*: почему при движении приёмника 2 от генератора волн 1 происходит то усиление, то осла-

бление приёма? Разве энергия электромагнитной волны распространяется не непрерывно? Почему? Какое влияние оказывает экран? Чем же тогда интересна область, в которой находится приёмник? (О т в е т. В ней существуют две волны: падающая и отражённая.)

Далее учитель вводит понятие «интерференция», называет условия, при которых она возможна, указывает, что в данном опыте наблюдается частный случай интерференции: образование стоячей волны. *Вопросы* для обсуждения: отличается ли распределение энергии при интерференции волн от обычного случая распространения одной волны? (О т в е т. Убирается экран. При передвижении приёмника фиксируются сравнительно малые изменения сигнала. При интерференции волн наблюдается периодическое усиление и ослабление сигнала.) Можно ли описать наблюдаемые явления следующими графиками изменения зависимости плотности энергии от расстояния (рис. 79, а, б)? Можно ли утверждать, что при интерференции энергия в пространстве перераспределяется (см. рис. 79, б)?

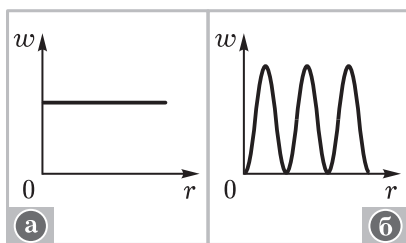


Рис. 79

В общем случае интерференции наблюдается более сложная картина (рис. 80). Проводят соответствующий опыт с двумя металлическими зеркалами, которые располагаются под небольшим углом друг к другу. Электромагнитная волна от генератора 1 доходит до зеркал 2 и 3, отражается в виде двух когерентных пучков (см. рис. 80), которые при наложении дают интерференционную картину. Последняя фиксируется с помощью рупорного приёмника 4 электромагнитных волн (рис. 81). При объяснении интерференции (пока на качественном уровне) используется рисунок 82. В точке М (см. рис. 82, а) наблюдается максимальная ампли-

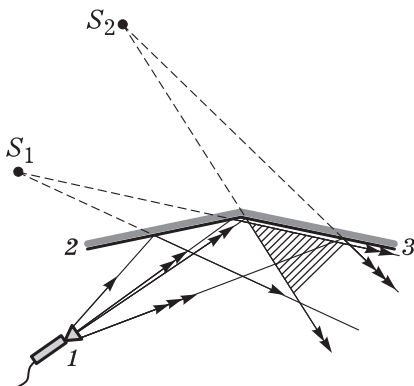


Рис. 80

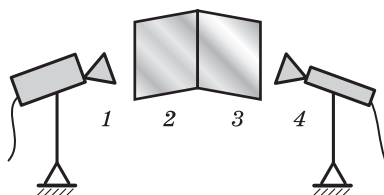


Рис. 81

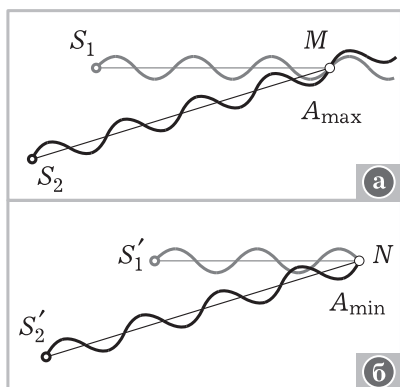


Рис. 82

ратор электромагнитных волн 1 расположен напротив щели 3. (О т в е т. В центре наблюдается сильный сигнал, при движении приёмника в сторону происходит его ослабление, затем вновь усиление.) Можно ли утверждать, что, как и в случае с интерференцией, происходит перераспределение энергии волны?

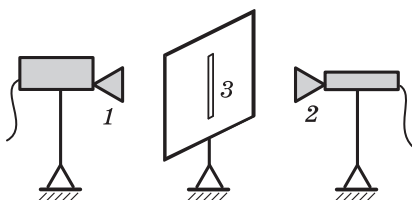


Рис. 83



Рис. 84

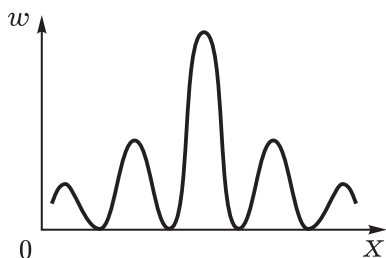


Рис. 85

туда колебаний, в точке  $N$  (см. рис. 82, б) — минимальная.

**2. Дифракция.** Отклонение волны от прямолинейного распространения — основное свойство. Проявляется оно, в частности, в огибании волнами препятствий. Проводят *опыт* по дифракции электромагнитных волн на щели 3 в металлическом экране (рис. 83). *Вопросы для обсуждения:* что наблюдается при передвижении приёмника 2 вправо и влево от щели? Генератор электромагнитных волн 1 расположен напротив щели 3. (О т в е т. В центре наблюдается сильный сигнал, при движении приёмника в сторону происходит его ослабление, затем вновь усиление.) Можно ли утверждать, что, как и в случае с интерференцией, происходит перераспределение энергии волны? (О т в е т. Да. Есть области, где происходит концентрация энергии.)

Учитель обращает внимание школьников на рисунок 84, на котором изображена картина распределения плотности потока энергии при движении приёмника перпендикулярно щели (вправо и влево). Тёмные участки соответствуют большей интенсивности электромагнитной волны. На рисунке 85 приведён соответствующий график. Знакомство с данными иллюстрациями помогает в дальнейшем при изучении дифракции световых волн.

**3. Поляризация.** Обсуждают *вопросы:* какие виды волны изучали? Чем они различаются?

Формулируют *проблему:* какими волнами являются электромагнитные волны?

В ряде явлений расположение плоскости колебаний

по отношению к направлению распространения волны играет важную роль. Покажем это экспериментально.

Проводят известный *опыт* (рис. 86). *Вопросы* для обсуждения: почему при одном положении решётки 3 наблюдается приём волн, а при другом нет?

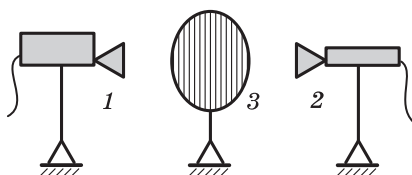


Рис. 86

В каком случае электромагнитные колебания не могут пройти через решётку? Нельзя ли провести аналогичный опыт с волной на резиновом шнуре? Можно ли с помощью явления поляризации определить, продольная волна или поперечная? Можно ли поляризацией волн объяснить отсутствие приёма волн, если повернуть рупор приёмника 2 по часовой стрелке на  $90^\circ$ ? Будет ли наблюдаться приём, если генератор 1 повернуть на  $90^\circ$ ? на  $180^\circ$ ?

Изучение нового материала, его отработка и осмысление на уроке проводятся одновременно. При наличии времени в конце урока можно решить ряд задач.

1. Определите длину электромагнитной волны, используя метод стоячей волны.

Задачу предлагают одному или двум школьникам до начала занятия, на уроке *опыт* повторяют, чётко фиксируют 5—8 максимумов, выполняют расчёт. Важно сделать и объяснить рисунок 87, можно показать стоячую волну с помощью резинового шнура. На рисунке обозначены: 1 — генератор, 2 — приёмник, 3 — металлический экран.

Между генератором 1 и металлическим экраном 3 образуется стоячая волна. При перемещении точечного приёмника 2 фиксируются максимумы или минимумы. Измерив расстояние между ними, определяют длину волны.

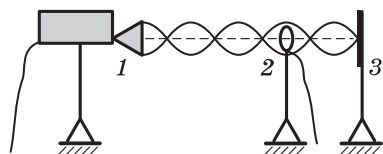


Рис. 87

2. Будет ли меняться интерференционная картина, если в область распространения волны вносить разные объекты: картон, металл и др.? Можно ли этот опыт использовать на производстве?

В заключение повторяют *вопросы*: какие свойства электромагнитных волн мы рассмотрели? Используется ли знание этих свойств в жизни и технике? Какое свойство волны называют поляризацией? Что означает выражение «волна поляризована»? В чём заключается явление интерференции и каковы условия её устойчивого наблюдения?

**III. Домашнее задание:** записи в тетрадях; § 39; упр. на с. 159 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 696, 697.

## Урок 5. Изобретение радио А. С. Поповым. Принцип радиотелефонной связи

По содержанию урок строится традиционно. При подведении итогов обсуждают *вопросы*: в чём состоит принцип радиосвязи? Что такое модуляция? Почему без неё невозможна радиопередача? Как осуществляется амплитудная модуляция? Можно ли колебания, изображённые на рисунке 6.13 учебника, считать модулированными? Какую роль в радиосвязи играет детектирование? Изобразите структурную схему радиопередачи, укажите вид колебаний на каждом этапе изменения сигнала (рис. 6.14 учебника).

*Домашнее задание*: § 37\*; упр. на с. 154 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 698, 699; рекомендуется чтение работы А. С. Попова (Хрестоматия, с. 124—127).

## Урок 6\*. Амплитудная модуляция и детектирование. Простейший радиоприёмник

**Задачи урока**: изучить физические принципы радиотелефонной связи; рассмотреть схему простейшего радиоприёмника.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Повторение изученного материала	7—10	Рассказ учащихся. Ответы на вопросы
<b>II.</b> Изучение и закрепление нового материала: понятия «модуляция», «демодуляция», «амплитудная модуляция», «детектирование», основные части простейшего радиоприёмника и их назначение	30	Беседа. Постановка эксперимента. Работа с учебником. Решение задач
<b>III.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	5—6	Ответы на вопросы. Сообщение учителя

**I.** С целью повторения изученного материала, контроля знаний и формирования у школьников умения излагать свои мысли в устной речи рассматривают: структурную схему радиовещательного тракта, генератор незатухающих электромагнитных колебаний. Во время подготовки учащихся у доски класс обсуждает *вопросы*: в чём значение опытов Попова? Какова роль Г. Маркони в развитии радиосвязи?

**II.** Как практически осуществляются модуляция и детектирование — основная *учебная проблема* урока. Она решается методом беседы при постановке и объяснении опытов по получению амплитудной модуляции и работе детекторного приёмника с УНЧ

(ДЭ-2, опыты 56, 57). Одновременно используют иллюстрации учебника (рис. 6.15—6.21). По рисункам учитель задаёт *вопросы*: какую роль выполняет транзистор в цепи (рис. 6.15 учебника)? Как работает участок цепи с транзистором? Как осуществляется модулирование высокочастотного сигнала? Какие изменения высокочастотного сигнала происходят на участке, изображённом на рисунке 6.16 учебника? Чем различаются токи, проходящие через резистор в цепях (рис. 6.16, 6.19 учебника)? Улучшится ли сглаживание низкочастотного сигнала, если последовательно с конденсатором соединить катушку (рис. 6.19 учебника)? Какие изменения необходимо внести в цепь, чтобы генератор излучал радиоволны отдельными импульсами (рис. 6.19 учебника)?

Для закрепления изученного материала организуется беседа при постановке *опыта* с вибратором Герца и дипольным приёмником электромагнитных волн. Для этого вместо транзисторного приёмника (см. рис. 73) используют диполь, который подсоединяется к осциллографу. С помощью данной установки разбирают несколько вопросов.

*Вопросы*: что можно сказать об излучаемых вибратором волнах по виду осциллограммы? Постоянна ли амплитуда колебаний? Являются ли колебания модулированными? Аргументируйте ответ. Как в нашем случае можно модулировать электромагнитные колебания? Как и почему изменяется вид осциллограммы, если приёмный диполь закоротить диодом? Что произойдёт, если поменять полярность подключения диода? Какие колебания наблюдаются на экране осциллографа? Можно ли из них выделить низкочастотные колебания? Как это сделать?

Отработка материала продолжается при решении *качественных задач*.

1. Какова причина помех радиоприёму от проходящего вблизи трамвая? Почему транзисторный приёмник или телевизор с антенной реагирует на выключение утюга из розетки?
2. Будет ли работать приёмник (рис. 6.21 учебника), если диод включить в противоположном направлении?
3. Какие (низкоомные или высокоомные) наушники следует использовать в детекторном приёмнике?

**III.** При подведении итогов урока повторяют *вопросы*: как осуществляется телеграфная модуляция? В чём состоит принцип амплитудной модуляции? Как практически осуществить амплитудную модуляцию?

*Домашнее задание*: § 37\*, 38\*; задачи на повторение по выбору учителя.

## Урок 7\*. Решение задач

**Задачи урока**: совершенствовать знания и умения по характеристике излучения, распространения и приёма электромагнитных волн.

### Ход урока

I. В начале урока решают задачи.

1. Какими способами можно настроить колебательный контур в резонанс?
2. Определите период и частоту радиопередатчика, работающего на волне 20 м.
3. Колебательный контур радиоприёмника с индуктивностью 0,25 мГн принимает волны длиной волны 150 м. Определите ёмкость конденсатора.
4. Какие изменения следует внести в цепь (рис. 6.15 учебника) для увеличения мощности излучения сигнала?
5. Для работы радиостанции отводят полосу частот в 4 кГц. Сколько радиостанций может работать в диапазоне средних волн от 200 до 500 м?
6. Определите длину электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, если максимальный заряд конденсатора равен  $2 \cdot 10^{-8}$  Кл, а максимальная сила тока в контуре равна 1 А.

Последняя задача может быть предложена учащимся в качестве индивидуальной работы.

II. Выполняют подходящий тест.

III. Домашнее задание: П., № 701, 702.

## Урок 8\*. Распространение радиоволн. Радиолокация

**Задачи урока:** изучить особенности распространения радиоволн в атмосфере; познакомить с принципом радиолокации и применением радиолокации в народном хозяйстве.

### Ход урока

I. На уроке изучение нового материала сочетают с его отработкой главным образом с помощью беседы.

Урок начинается с рассказа учителя о распространении радиоволн. Почему важно изучить этот вопрос? Для ответа можно обратить внимание школьников на первый абзац § 40 учебника. На Земле радиоволны распространяются в атмосфере. Для обеспечения устойчивой радиосвязи надо знать, как это происходит.

II. Свой рассказ учитель сопровождает показом таблиц, рисунков, слайдов. Итог этой части изучения нового материала подводится с помощью фронтального повторения по вопросам: каковы особенности распространения радиоволн в пространстве? Зависит ли распространение радиоволн от длины волны? Зависит ли распространение радиоволн от состояния атмосферы? Происходит ли интерференция и дифракция радиоволн при их распространении? Имеет ли это практическое значение? Каковы особенности распространения ультракоротких волн?



Локация	
Вид	Использование в природе и технике
Звуковая и ультразвуковая локация	В природе: способность животных определять нахождение объекта. В науке и технике: гидролокаторы; эхолоты; шумопеленгаторы; ультразвук в диагностике
Светодальномерия	В технике: система стыковки в космосе; определение орбиты искусственного спутника Земли, высоты облаков и др.
Радиолокация	В технике: навигационные приборы судов и самолётов; радиовысотометр. В науке: изучение со спутников архитектурных объектов; поиск полезных ископаемых; определение астрономических единиц длины, расстояний до планет, скоростей вращения планет. В военном деле: автоматическая наводка орудий, ракет и др.; радары в системе противовоздушной обороны

Явление радиолокации изучается в ходе беседы, при постановке эксперимента, при показе таблицы и решении задач. Принцип радиолокации — прямолинейное распространение и

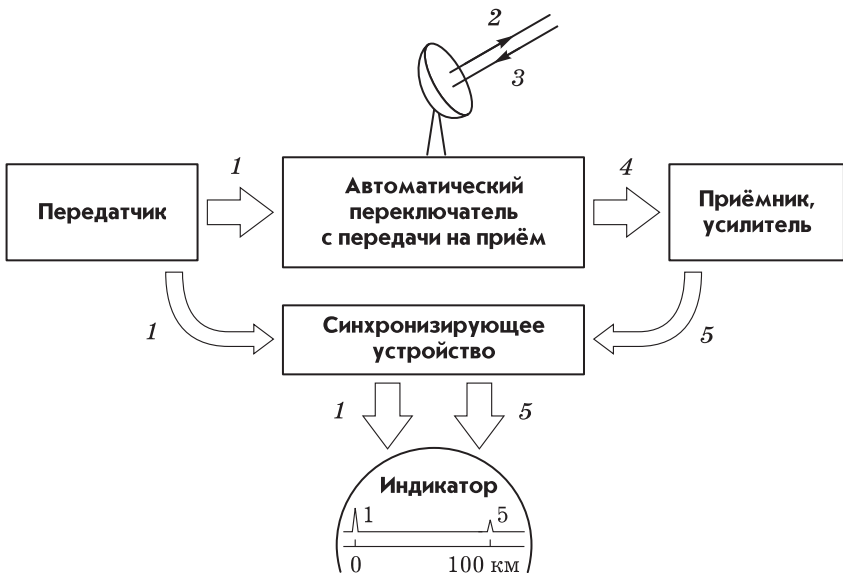


Рис. 88

отражение радиоволн. После определения радиолокации учитель показывает опыт, подобный опыту по отражению электромагнитных волн (см. рис. 76). В опыте можно использовать дипольную антенну, расположив её рядом с генератором. При внесении металлического экрана происходит отражение волн, что и фиксируется приёмником.

Принцип действия радиолокатора объясняют с помощью схемы (рис. 88). Обсуждают *вопросы*: как обеспечивается острая направленность излучения в современных радиолокаторах? Каким образом определяется расстояние до объекта? Чем различаются сигналы 1 и 4 (см. рис. 88)? Для чего необходимо синхронизирующее устройство?

Применение радиолокации раскрыто в таблице 22.

III. Обработка изученного материала продолжается при решении задач: П., № 701—703.

IV. Домашнее задание: § 40\*, 43\* (2, 3); упр. на с. 162 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 704.

## Урок 9\*. Решение задач. Самостоятельная работа

Особенность урока состоит в том, что школьникам предлагается объём работы с запасом, предоставляется возможность использовать учебник и другие источники. Отдельным ученикам раздают задания повышенной сложности.

### Самостоятельная работа

#### Вариант I

1. Сигнал радиолокатора возвратился от цели через  $3,3 \cdot 10^{-4}$  с. На каком расстоянии находится цель?
2. Начертите схему простейшего радиоприёмника. Какую роль выполняют в схеме конденсаторы?
3. Почему при связи на коротких волнах получаются зоны молчания? Решение поясните рисунком.
4. Перечислите виды средств связи и укажите, в чём преимущество каждого из них.
5. По графикам высокочастотных (рис. 89, а) и звуковых (рис. 89, б) колебаний постройте график модулированных колебаний. Охарактеризуйте модулированные колебания.

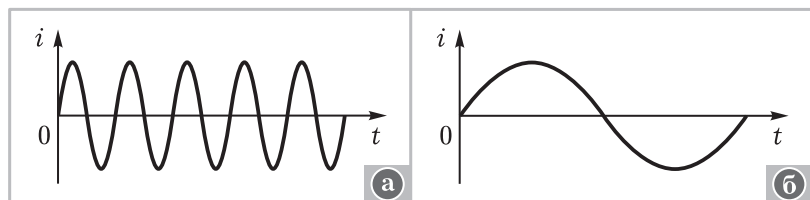


Рис. 89

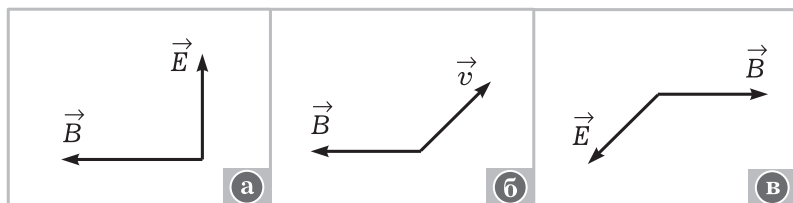


Рис. 90

### Вариант II

1. Частота повторения импульса лоатора 1500 Гц, длительность импульса 1 мкс. Определите наибольшее и наименьшее расстояния, на которых лоатор может обнаружить цель.
2. Для каждого случая начертите недостающий вектор электромагнитной волны (рис. 90, а—в). Как должна быть расположена антенна для лучшего приёма?
3. Каковы основные свойства электромагнитных волн и как эти свойства можно обнаружить? Назовите или опишите изученные опыты.
4. Объясните вид сигнала (рис. 91, а—в). Опишите, при каких условиях первый сигнал превращается во второй и в третий.
5. Начертите схему радиоприёмного устройства. Сделайте необходимые пояснения.

### Индивидуальные задания

1. Судовая радиолокационная станция излучает 1000 импульсов длиной волны 3 см за 1 с. Продолжительность одного импульса 0,3 мкс, а мощность 70 кВт. Определите энергию одного импульса, среднюю мощность станции, число длин волн в одном импульсе.
2. Почему увеличение дальности радиосвязи с космическими кораблями в 2 раза требует увеличения мощности передатчика в 4 раза, а такое же увеличение дальности работы радиолокатора требует увеличения его мощности в 16 раз?

О т в е т. Без учёта поглощения среды при одной и той же частоте сигнала мощность

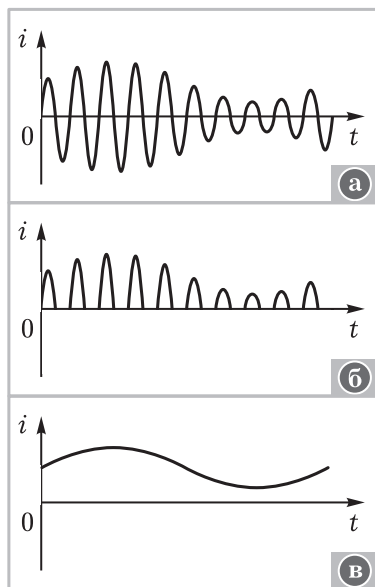


Рис. 91



Рис. 92

радиолокатора должна быть больше, так как его сигнал идёт туда и обратно.

3. На рисунке 92 изображён вибратор, который использовал Герц в своих опытах. Объясните, как этот прибор работал.

*Домашнее задание:* решение задач.

1. Продолжительность радиоимпульса равна  $10^{-6}$  с. Сколько длин волн содержит один импульс, если радиолокатор работает на частоте 50 МГц?
2. Определите возможную дальность действия радиолокатора, если время развёртки в электронно-лучевой трубке составляет 1000 мкс.

## Урок 10. Понятие о телевидении

**Задачи урока:** познакомить с принципом передачи изображения телепередатчиком и с принципом приёма изображения телевизором; продолжить формирование интеллектуальных умений при решении задач.

### Ход урока

I. При рассмотрении нового материала обсуждают *вопросы*: как происходит преобразование изображения в электрический сигнал? Каким сигналом модулируются излучаемые телепередатчиком высокочастотные электромагнитные волны? Происходит ли детектирование высокочастотного сигнала в телевизоре? Почему антенну телецентра устанавливают как можно выше над поверхностью земли? В чём различие радио- и телесвязи?

II. Для отработки знаний предлагаются задачи.

1. В телевидении в качестве несущей частоты используют электромагнитные колебания частотой 50 МГц — 1 ГГц. Чему равна длина волны излучаемых радиоволн?
2. Несущая частота телесигнала 50 МГц. За время 0,04 с передаётся 500 000 элементов изображения. Определите число длин волн телесигнала, которые несут один элемент изображения.
3. Определите дальность действия радиолокатора, если он излучает 500 импульсов в 1 с.

III. *Домашнее задание:* § 41\*, 42; упр. на с. 169 (1—3).

## Урок 11. Конференция «Развитие средств связи»

Учащиеся готовят четыре-пять сообщений по теме, используя литературу и современные источники информации.

## Часть III. ОПТИКА

В школьном курсе физики оптику нужно рассматривать как часть электродинамики. С самого начала следует подчеркнуть, что продолжается изучение электромагнитных волн, но только на примере волн одного конкретного диапазона. Существование световых волн весьма важно для человека; поэтому учёные стремились их изучить максимально подробно. В школе происходит знакомство с тремя теориями света — геометрической, волновой и квантовой оптикой.

В конце изучения раздела нужно запланировать повторение и обобщение всей электродинамики. Очевидно выделение электродинамики стационарных и нестационарных процессов, а среди последних — специальное обобщение знаний об электромагнитных волнах на примере традиционного вопроса о шкале электромагнитных волн. В определённой степени и специальная теория относительности может быть представлена как обобщение электродинамики. На этой основе определяется и логика построения содержания уроков. Она не противоречит содержанию учебника.

### Урок 1. Введение: развитие взглядов на природу света

**Задачи урока:** расширить кругозор учащихся; сформировать представления о взаимодействии света и вещества.

Урок проводится в виде лекции. При её подготовке учитель обращает внимание на подбор иллюстраций и использование хрестоматийного материала.

#### План лекции

##### 1. Возникновение и развитие оптики.

Многие известные философы древности, в частности Пифагор (VI в. до н. э.), Аристотель (IV в. до н. э.), Евклид (III в. до н. э.), занимались изучением света. Евклид в своих трактатах обобщил опыт предшественников, изложив два закона геометрической оптики — закон прямолинейного распространения и закон отражения света. Древнегреческий учёный Архимед (ок. 287—212 гг. до н. э.) писал: «Почему в плоских зеркалах предметы и изображения представляются одинаковыми, в выпуклых и сферических — уменьшенными, в вогнутых же, наоборот, увеличенными... почему вогнутые зеркала, помещённые против Солнца, зажигают подложенный трут?»

Многие световые явления были известны издавна. Так, позднее Клавдий Птолемей (II в. н. э.) в книге «Оптика» описывал явление преломления света и практически приблизился к открытию закона преломления.

При рассмотрении вопроса учитель может продемонстрировать отдельные световые явления.

## 2. Развитие представлений о природе света.

**Свет** — это электромагнитные волны с диапазоном частот от  $4,0 \cdot 10^{14}$  до  $7,5 \cdot 10^{14}$  Гц. Такие волны вызываются колебаниями очень высокой частоты. Вибраторами в этом случае служат атомы вещества.

Что же такое свет? Этот вопрос волновал людей с глубокой древности. Свет как физический объект, с одной стороны, находится везде и всюду, с другой — неуловим. Его трудно выделить для изучения, потому что наше восприятие объектов природы происходит как раз с помощью света. Учёные с давних времён задавались вопросом о природе света.

По-видимому, Пифагор одним из первых выдвинул гипотезу о том, что тела испускают мельчайшие частицы, которые попадают в глаз, благодаря чему мы и видим окружающие нас тела. Позднее Ньютон (1643—1727) усовершенствовал **корпускулярную модель света**. Согласно этой модели свет испускается телами в виде потока мельчайших частиц — корпускул, далее они движутся прямолинейно по инерции. Корпускулярная модель света объясняла, например, отражение света от зеркала аналогично отражению шарика при упругом ударе о плоскость. Но Ньютону не удалось с помощью своей теоретической модели света объяснить все известные тогда явления, например независимое распространение света от двух источников. Действительно, почему частицы-корпускулы одного источника не действуют на частицы-корпускулы другого источника в том случае, когда свет от этих источников пересекается в пространстве?

Одним из первых *гипотезу о свете как возбуждении среды* выдвинул древнегреческий учёный Аристотель. Форму **теории световых волн** эта гипотеза приобрела в трудах голландского физика Гюйгенса (1629—1695), английского физика Юнга (1773—1829) и французского физика Френеля (1788—1827). Модель света в этой теории такова: свет — это волны, которые распространяются в особой среде — эфире, которым заполнено всё пространство. К началу XIX в. на основе этой теории учёным удалось объяснить все наблюдаемые явления. Максвелл, теоретически доказав электромагнитную природу света, придал фундаментальный характер теории волновой модели света. После экспериментов Герца с электромагнитными волнами и опытов Лебедева по измерению давления света, рассчитанного на основе волновых представлений, сомнений в волновой природе света не осталось. Нет экспериментальных и теоретических оснований для изменения этой точки зрения и сейчас.

В познании природы не всё так просто. В начале XX в. при изучении явлений на микроуровне учёные вновь обратились к гипотезе о корпускулярной природе света. Свет излучается атомами в виде частиц-квантов, распространяется по законам волн, поглощается веществом как поток частиц. В современной физике корпускулярные и волновые представления (модели) о свете согласованы между собой.

### 3. Наука о свете в современной физике.

Оптика — очень развитая часть физики. Она состоит из многих разделов. Учитель поясняет таблицу 23.

Исторически первой возникла **геометрическая оптика**. Она рассматривает свет и объясняет некоторые световые явления с помощью понятия светового луча. Фотометрия изучает свет с точки зрения переноса энергии и её восприятия человеком. Волновая оптика объясняет большинство наблюдаемых явлений на основе электромагнитной природы света. Квантовая оптика пошла дальше: на микроуровне свет представляет собой поток частиц, необычных, но всё же частиц. Таким образом, квантовой оптике удалось глубже изучить некоторые свойства света и световые явления.

Таблица 23

## Оптика

**Геометрическая**  
**Физиологическая фотометрия**  
**Физическая (волновая, квантовая),**

**в том числе:**

#### **молекулярная оптика**

Анализ вещества средствами оптики

#### **электронная и ионная оптика**

Получение изображений с помощью  
электронных пучков

#### **нелинейная оптика**

Зависимость оптических свойств среды  
от интенсивности света

#### **радиооптика**

Передача и обработка информации  
оптическими методами

#### **волоконная оптика**

Передача световых сигналов

#### **оптоэлектроника**

Оптические и электрические методы  
обработки информации

4. Скорость распространения — важнейшая характеристика света. Материал по этой теме можно предложить для самостоятельного изучения по учебнику, после чего следует обсуждение по *вопросам*: почему скорость света впервые была измерена астрономическим методом? В чём его суть? На основе какой гипотезы Рёмер объяснил запаздывание выхода спутника Ио из тени? Почему необходимы были лабораторные методы измерения скорости света?

*Домашнее задание*: введение, § 44; упр. на с. 178 (3).

## Глава VII. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

При изучении оптики несколько первых уроков отведено на геометрическую оптику. Опираясь на ранее изученный материал, учащиеся углубляют свои знания; в частности, воспринимают законы геометрической оптики как следствие волновых представлений. И геометрическая оптика как теория света обнаруживает границы применимости.

### Урок 2. Принцип Гюйгенса. Закон отражения света

**Задачи урока**: повторить и обобщить ранее изученные представления геометрической оптики; рассмотреть принцип Гюйгенса как приём для объяснения закона отражения света; продолжить формирование умений выделять оптические явления и описывать их.

#### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Повторение. Понятие о геометрической оптике	10	Фронтальный опрос. Работа с таблицей
<b>II.</b> Изучение нового материала: принцип Гюйгенса и его использование	20—25	Рассказ учителя. Беседа. Записи в тетрадях. Работа с учебником
<b>III.</b> Отработка знаний. Подведение итогов. Домашнее задание	10—15	Решение задач. Ответы на вопросы. Обобщение

**I.** Во-первых, с помощью таблицы повторяют описание метода Рёмера для определения скорости света как важнейшей характеристики света. Во-вторых, повторяют и обобщают представления геометрической оптики как теории света. Систематизация материала в ходе беседы отражается в таблице 24.

*Вопросы* для обсуждения: что такое свет? Какие теории света мы рассматривали? На основе какой теории изучает свет геометрическая оптика? Всегда ли для описания световых явлений можно использовать понятия и законы геометрической оптики? Каков критерий применимости геометрической оптики?



# Геометрическая оптика как теория света

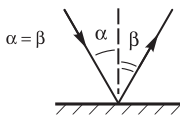
## Основание

- Типичные оптические явления: распространение света, отражение и преломление света, поглощение света
- Понятия: источник света, световой пучок, линза, фокус и др.

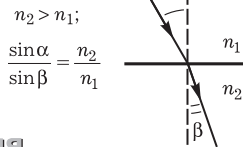
## Ядро теории

- Модели: точечный источник света, световой луч, тонкая линза
- Законы: прямолинейное распространение, обратимость световых лучей

### закон отражения

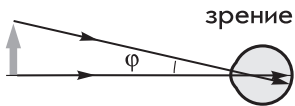


### закон преломления

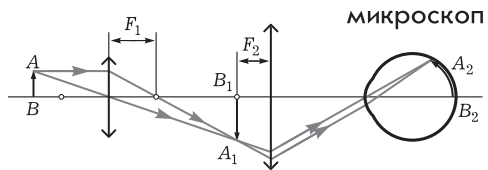
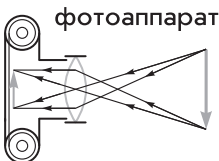
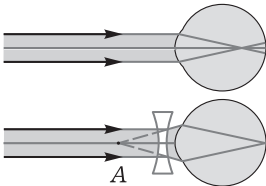


## Следствия. Применения

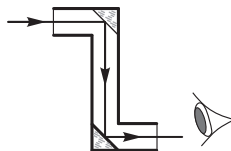
Объяснение явлений природы и действия оптических систем



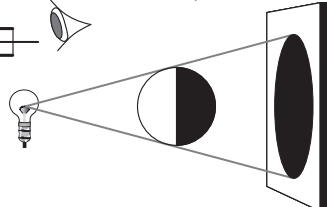
### близорукость – очки



### перископ



### тень, затмение



**II.** По одной из теорий свет — волновой процесс. Если это так, то изученные ранее законы отражения и преломления должны быть объяснены на основе волновой теории света. Впервые такую задачу решил выдающийся голландский физик Х. Гюйгенс. В 1678 г. он сформулировал общий для всех волн **принцип**: каждая точка среды, до которой доходит фронт волны, сама становится источником вторичных волн.

По учебнику (§ 45) рассматривают, как согласно принципу Гюйгенса образуется фронт волны в следующий момент времени; после этого выполняют рисунок 7.4 учебника. В заключение учитель может зачитать цитату о прямолинейном распространении света из работы Гюйгенса «Трактат о свете» (Хрестоматия, с. 153).

**III.** При закреплении изученного материала следует выполнить несколько заданий на явление отражения света.

1. Приведите примеры явления отражения света.
2. Подумайте, как экспериментально доказать расходимость светового пучка.
3. На одном берегу реки находится столб с фонарём, на другом стоит человек. Подумайте, можно ли найти точку, от которой отражается луч фонаря, попадающий в глаз человека.
4. Ответьте, как с помощью карманного зеркала увидеть полное изображение дерева, здания, автомобиля. Почему при удалении зеркала человек видит в нём меньшее количество предметов? Для объяснения эксперимента выполните построение изображения.
5. Экспериментально исследуйте, при каком расположении двух плоских зеркал можно увидеть свой профиль.
6. Ответьте, почему в кинотеатрах в качестве экрана не используют плоское зеркало.
7. Всегда ли при наблюдении предмета и его изображения в плоском зеркале их размеры одинаковы?
8. Экспериментально исследуйте, влияет ли распространение одного пучка света на другой.
9. Экспериментально исследуйте, можно ли настольную лампу моделировать точечным источником света.

*Домашнее задание:* § 45, 46\* (1, 4); упр. на с. 178 (4); индивидуально — П., № 706, 707.

### **Урок 3. Закон преломления света. Полное отражение**

**Задачи урока:** изучить явление преломления света; ввести понятия о показателе преломления и полном отражении; изучить законы преломления.

#### **Ход урока**

**I.** У доски один из школьников рассказывает о явлении отражения света по заранее известному плану: определение явления,

демонстрация явления, описание явления. Для письменного ответа двум-трём школьникам предлагают задачи.

1. На плоское зеркало падает луч света под углом  $25^\circ$ . Как изменится угол между падающим и отражённым лучами, если угол падения увеличится до  $40^\circ$ ? Когда падающий и отражённый лучи будут перпендикулярны друг другу?
2. Постройте изображение стрелки в вертикально расположенном зеркале для случая, когда стрелка находится ниже зеркала.

Для фронтального повторения используют *вопросы*: не противоречит ли прямолинейное распространение света волновым представлениям о нём? Где на практике используются законы отражения света? Выполняются ли законы отражения при отражении света от вогнутого зеркала?

II. В начале урока повторяют определение явления преломления света. Каковы законы этого явления — *основной вопрос* при изучении нового материала.

Учитель демонстрирует явление преломления с помощью прибора по геометрической оптике. Обсуждают *вопросы*: как доказать, что луч падающий, луч преломлённый и перпендикуляр, восстановленный из точки падения, лежат в одной плоскости? Как изменяется направление распространения луча при переходе из одной среды в другую? Изменяется ли плотность потока излучения при переходе света из одной среды в другую?

Можно ли объяснить преломление луча света на границе раздела двух сред на основе волновой теории? Для решения этой *проблемы* школьники самостоятельно выполняют построение, используя принцип Гюйгенса (§ 45 учебника). Один из школьников может выполнить построение на доске; возможен рассказ о выполняемых действиях с места.

Далее школьники наблюдают преломление света на примере карандаша в стакане с водой. Затем учитель рассказывает о показателе преломления, даёт определение полного отражения света, используя рисунок и демонстрацию явления. Школьники выполняют *экспериментальные задания*.

1. Почему при наблюдении снизу поверхность воды в стакане кажется зеркальной? Используя разные лучи света, постройте модель наблюдаемого явления.
2. Пронаблюдайте, как меняется вид пробирки, опущенной в воду, при налипании в неё воды?

Индивидуально предлагается *вопрос*: почему по мере налипания воды в стакан на его дне становится видна монета? (*Примечание*. Монета опущена на дно так, что наблюдатель не видит её из-за стенки стакана; решение оформляют в виде рисунка.)

III. При подведении итогов используют *вопросы*: какие световые явления наблюдаются на границе раздела двух сред? Каковы законы этих явлений? Каково значение законов отражения

и преломления света в жизни и производственной деятельности человека?

*Домашнее задание:* § 47, 48; упр. на с. 186 (ЕГЭ). Индивидуально — *вопросы:* почему по другую сторону костра (газовой горелки) мы видим колеблющиеся предметы? Если плотно прижать белый лист бумаги к листу с текстом и смотреть на свет, то буквы хорошо видны. Почему же их не видно, если белая бумага отодвинута от текста на небольшое расстояние?

## **Урок 4. Лабораторная работа**

### **«Измерение показателя преломления стекла»**

Работу проводят по инструкции учебника. Дополнительный *вопрос:* как и почему меняется изображение букв текста книги при рассмотрении их через косые грани плоскопараллельной пластинки?

*Домашнее задание:* § 49\* (1); упр. на с. 189 (1); индивидуально — П., № 713, 714, 722.

## **Урок 5\*. Решение задач**

**Задачи урока:** продолжить формирование практических и интеллектуальных умений; развивать интерес к предмету путём проведения занимательных опытов, решения экспериментальных задач.

Решение задач является одним из основных средств формирования практических и интеллектуальных умений при изучении геометрической оптики. Формы организации работы самые разнообразные. Например, некоторые задачи (П., № 705, 726) можно решать как экспериментальные. Школьники получают индивидуальные задания, готовят эксперименты, выступают с сообщениями на уроке.

Приведём несколько новых или редко встречающихся **задач**.

1. Древнегреческий астроном и физик Птолемей не открыл закона преломления, хотя экспериментально получал, например, следующие результаты: углы падения были равны 10, 20, 30, 40, 50°; углы преломления оказывались 8, 15,5, 22,5, 28, 35°. Достаточно ли было точности измерений для формулировки закона? Почему учёный не смог этого сделать?
2. Какой стороной следует положить на текст матированное стекло (одна поверхность гладкая, другая шероховатая), чтобы текст можно было прочесть?
3. Экспериментально определите фокусное расстояние рассеивающей линзы. **Оборудование:** линзы № 1, 3 из набора линз для лабораторных работ, экран Э, линейка, фильмоскоп в качестве источника параллельного пучка света. (**Указания к решению:** измеряется фокусное расстояние системы двух линз 1 и 2 (рис. 93), затем собирающей линзы 2; по результатам измерений рассчитывается искомое фокусное расстояние.)

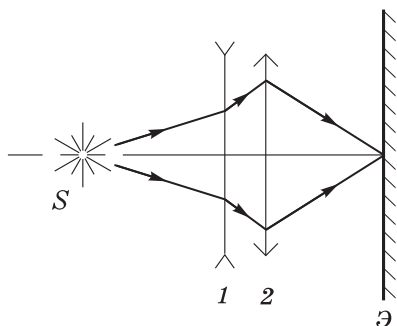


Рис. 93

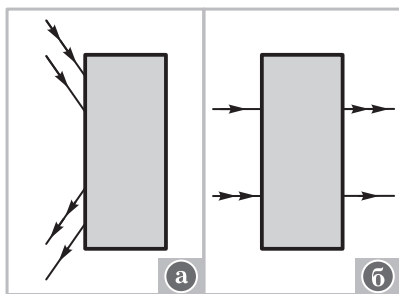


Рис. 94

4. Определите оптическое устройство чёрного ящика, который меняет направление лучей так, как показано на рисунке 94, а, б.
5. Волоконный световод изготовлен из флинта ( $n = 1,75$ ), а его оболочка — из крона ( $n = 1,52$ ). Под каким наибольшим углом (рис. 95) могут входить в световод лучи, чтобы они не вышли наружу через оболочку?

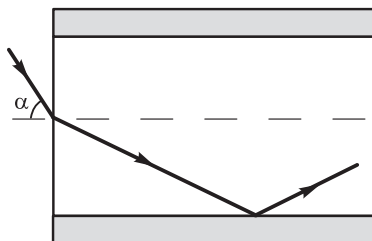


Рис. 95

*Домашнее задание:* § 49\* (2, 3); упр. на с. 189 (2, 3); индвидуально — упр. на с. 190 (ЕГЭ).

## Урок 6. Линза. Построение изображения в тонкой линзе

**Задачи урока:** изучить виды линз, ввести понятие тонкой линзы как модели; ввести основные характеристики линзы — оптический центр, главная оптическая ось, фокус, оптическая сила; сформировать умение строить ход лучей в линзах.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение домашнего задания	10	Решение задач
II. Изучение нового материала: виды линз, ход лучей в линзе и построение изображений	20—25	Рассказ учителя. Демонстрации. Беседа. Рисунки на доске и записи в тетрадях
III. Отработка знаний. Подведение итогов	10—15	Работа с учебником. Решение задач
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. У доски повторяют решение одной из домашних задач. Индивидуально один из школьников решает экспериментальную задачу.

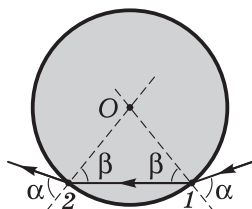


Рис. 96

Экспериментально определите показатель преломления воды. Оборудование: кристаллизатор с водой, линейка, иголки, транспортер. На рисунке 96 показан ход луча: в точке 1 — преломление на границе вода—воздух, в точке 2 — преломление на границе воздух—вода. (Примечание для школьника. Задача решается методом, который использовался в лабораторной работе. В качестве подсказки может быть дан рисунок или его часть.)

II. Последовательность рассмотрения материала может быть следующей.

1. Демонстрируют линзу и определяют её как прозрачное тело, ограниченное сферической и другой поверхностями. Выделяют виды линз (рис. 7.30, 7.31 учебника), показывают различные стеклянные и наливные линзы. Сразу же говорят о собирающих и рассеивающих линзах.

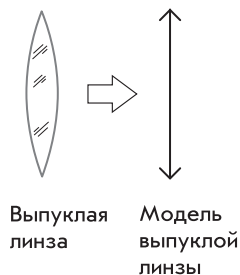


Рис. 97

2. Вводят понятие о **тонкой линзе** как модели реальных линз; подчёркивают на основе текста учебника, что условием выбора модели является возможность пренебрежения толщиной линзы по сравнению с расстоянием от предмета до линзы (аналогия с материальной точкой). Уместно выполнить рисунки 97, 98. Далее на одном рисунке (рис. 99) традиционно определяют оптический центр  $O$ , главную  $AOB$  и побочную  $MON$  оптические оси, фокальную плоскость  $F_1$ , главный  $F_1$  и побочный  $F'_1$  фокусы, фокусное расстояние  $OF_2$ , оптическую силу.

3. Одно изображение объекта (стрелки) строят на доске и в тетрадах, другие поясняют по рисункам (рис. 100). Выделяют

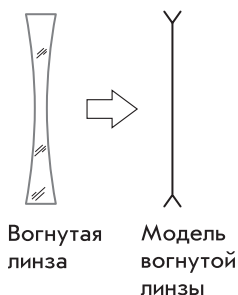


Рис. 98

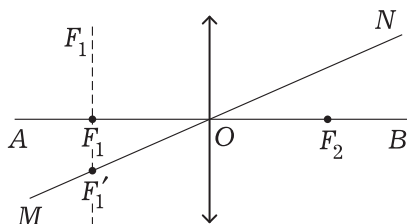


Рис. 99

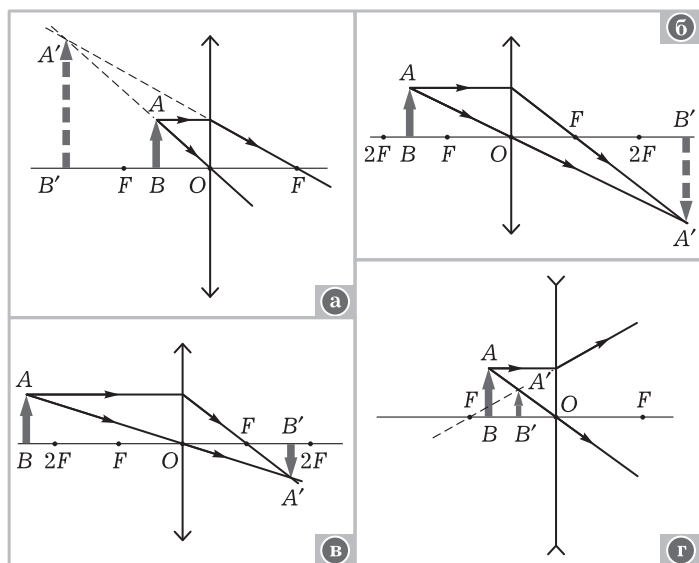


Рис. 100

«удобные» лучи. Для случая, изображённого на рисунке 100, а, определяют лупу как двояковыпуклую собирающую линзу, дающую увеличенное прямое мнимое изображение. *Вопросы для организации беседы:* какие изображения (см. рис. 100) являются мнимыми? Как вы думаете (выскажите гипотезы), чем различаются изображения точки  $A$  в тонкой и реальной линзах?

**III.** Далее на уроке коллективно и индивидуально решают задачи.

1. Упр. на с. 201 (1, 4).
2. Индивидуально: 1) упр. на с. 201 (2); 2) экспериментально определите, можно ли с помощью части лупы получить изображение.

**IV. Домашнее задание:** § 50; упр. на с. 201—202 (3).

## Урок 7. Формула тонкой линзы. Решение задач

На уроке вводят количественные характеристики хода лучей в линзе и формулу тонкой линзы, справедливость этой закономерности доказывают при решении задач.

Прежде всего рекомендуем рассмотреть примеры решения задач (§ 52 учебника), затем решить задачи: П., № 735, 736, 738, 741, 750.

*Домашнее задание:* § 51; упр. на с. 196 (ЕГЭ); упр. на с. 201—202 (5, 8).

## Урок 8. Лабораторная работа «Определение оптической силы и фокусного расстояния собирающей линзы»

Учебная деятельность организуется по инструкции учебника.

Примеры контрольных *вопросов*: каковы причины погрешностей в определении оптической силы линзы? Можно ли указанным методом измерить оптическую силу рассеивающей линзы?

## Урок 9\*. Решение задач. Самостоятельная работа

На уроке учащиеся самостоятельно решают типичные задачи по геометрической оптике, в заключение проводится *тест* на 15—20 мин. В тест лучше всего включить качественные задачи, задачи-рисунки, вопросы. Приведём примеры *вопросов*: моделью какого объекта является световой луч? Каковы границы применимости геометрической оптики? Какие из перечисленных явлений описываются законами геометрической оптики? Существуют ли в природе точечные источники света? В каких случаях нельзя использовать модель тонкой линзы для описания прохождения света через линзу?

*Домашнее задание*: упр. на с. 202 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 749, 751.

## Глава VIII. СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

Во второй половине XIX в. Дж. Максвелл доказал, что свет — частный случай электромагнитных волн. Естественно, что свет обладает всеми свойствами волн, которые экспериментально наблюдаются. С новыми свойствами света связано много новых физических явлений. В целом волновая оптика существенно расширила представления о свете.

Самые трудные для изучения явления — интерференция и дифракция — рассматриваются в курсе дважды: сначала на примере механических волн, а затем световых. Для подчёркивания распространённости волн в природе и единства их свойств (и средств описания) целесообразно повторно рассмотреть интерференцию и дифракцию электромагнитных волн (глава VI, урок 4\*).

## Урок 1. Дисперсия света. Поглощение света

**Задачи урока:** изучить распространение световых волн в веществе на примере дисперсии и поглощения света; продолжить формирование научного мировоззрения школьников.



## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Изучение нового материала: определение, показ и объяснение дисперсии, поглощение света и цвета окружающих тел	25—30	Рассказ учителя. Демонстрация опытов. Беседа по вопросам
II. Самостоятельная работа по закреплению материала	8—10	Решение задач. Консультация учителя и взаимопомощь
III. Подведение итогов урока	4—5	Обобщение изученного материала по вопросам
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Что такое свет? На этот вопрос постепенно учёные давали всё более точный ответ. В 1666 г. великий И. Ньютон провёл простой, но гениальный опыт. На трёхгранную призму он направил узкий световой пучок, на экране получилось световое пятно из семи цветов: фиолетового, синего, голубого, зелёного, жёлтого, оранжевого и красного (рис. 7.48 учебника). Волна одного цвета получила название **монохроматической**. Основным вывод из экспериментов был такой: белый свет как электромагнитная волна имеет сложное строение — состоит из семи монохроматических волн. Цветную картину на экране Ньютон назвал **спектром**. Ещё один вывод сам Ньютон сформулировал так: «Световые пучки, различающиеся по цвету, различаются по степени преломляемости».

Явление разложения белого света на цвета, т. е. в спектр, получило название **дисперсии**. Какова же природа этого явления? Очевидно, что разложение света в спектр происходит из-за действия вещества на свет. Вспомним, что показатель преломления  $n$  вещества определяется по формуле

$$n = c/v.$$

Если свет разных цветов преломляется по-разному, что следует из опытов, то, значит, скорости монохроматических волн в веществе различны. Таким образом, для каждой монохроматической волны есть свой показатель преломления. Чем же различаются монохроматические волны? Они различаются частотой колебаний, следовательно, и длиной волны. Например, для красного цвета  $\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$  м, для фиолетового  $\lambda = 7 \cdot 10^{-7}$  м. Итак, дисперсия света зависит от показателя преломления  $n$  вещества и от частоты  $\nu$  света.

Что же происходит на границе раздела двух сред? При переходе световой волны из воздуха в стекло скачкообразно изменяется её скорость, причём для волн разных частот по-разному. Одновременно также изменяется и длина каждой волны. Но

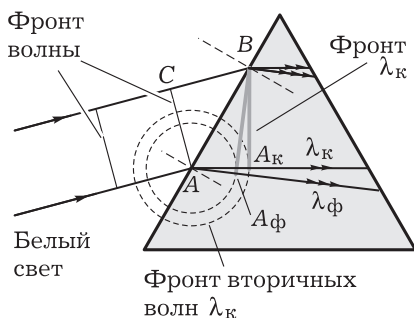


Рис. 101

частота колебаний в каждой из монохроматических волн остаётся постоянной. Разная скорость распространения монохроматических волн в веществе приводит к разному их преломлению на границе раздела двух сред (рис. 101). Пусть для примера на призму падает световой поток из волн красного и фиолетового цвета. Сначала фронт волн дойдёт до точки  $A$ , вторичные волны красного и фиолетового цвета

будут распространяться с разной скоростью. За время  $t$ , которое потребуется свету, чтобы пройти расстояние  $CB$ , фронт вторичных волн в призме уйдёт от точки  $A$  на разное расстояние (см. рис. 101). Естественно, огибающие вторичных волн будут разными —  $BA_k$  и  $BA_\phi$ . Соответственно и лучи волн разного цвета будут идти в разных направлениях. Это значит, что показатель преломления зависит от частоты света.

Учитель кратко рассказывает об опыте Ньютона, показывает эксперимент (ДЭ-2, опыты 81, 82), обращает внимание школьников на рисунки учебника; в классе с хорошо подготовленными учащимися рассматривает природу дисперсии — взаимодействие световой волны с частицами вещества.

При распространении световых волн в веществе наблюдают ещё одно важное явление — **поглощение** света веществом. Его природа также заключается во взаимодействии световой волны с частицами вещества. Под действием световой волны, в которой напряжённость электрического поля изменяется периодически, электроны атомов или молекул начинают колебаться. Часть энергии колебаний излучается, часть превращается во внутреннюю энергию. Прозрачность тел зависит от степени поглощения световых волн, от избирательности в поглощении световых волн разной длины волны. Теоретический вывод можно иллюстрировать опытом со светофильтрами, *опытами* по предсказанию цвета разных тел при их освещении световыми волнами основных цветов.

II. Отработка знаний продолжается при решении задач, в том числе экспериментальных. Например, проводят эксперимент: наблюдение спектра от узкого светового пучка (солнечного света через щель в шторах, света лампы через экран с щелью) через грань стеклянной призмы. Обсуждают вопросы: какие волны больше всего преломляются при прохождении призмы? Чем это объяснить? За счёт чего происходит разложение белого света в спектр? Изменяется ли длина волны и частота колебаний в световом излучении при переходе волны в среду (см. рис. 101)?

Изменяется ли длина волны фиолетового цвета при переходе из призмы в воздух (см. рис. 101)?

Один из школьников заранее готовит решение задачи.

Показатель преломления в стекле для красного света равен 1,6444, а для фиолетового — 1,6852. Определите разность углов преломления, если угол падения лучей  $80^\circ$ .

Таблица 25

## Дисперсия света

### Факты

- Дисперсия — физическое явление разложения белого света в спектр в результате взаимодействия с веществом

Опыт:



- Основные свойства явления: а) проявляется только для сложных волн; б) результат — разложение в спектр; в) результат зависит от формы, прозрачности и других свойств среды
- Радуга

### Модель

- Белый свет как электромагнитная волна имеет сложное строение, состоит из монохроматических волн:  $\lambda_{\text{к}} > \dots > \lambda_{\text{ф}}$
- Показатель преломления зависит от частоты света:  $n_{\text{к}} < \dots < n_{\text{ф}}$ ,  $v_{\text{к}} < \dots < v_{\text{ф}}$ ,  $v_{\text{к}} > \dots > v_{\text{ф}}$
- В вакууме скорости световых волн разных частот одинаковы, явления дисперсии нет

### Следствия . Применения

- Объяснение природы радуги
- Светотехника (объяснение цвета тел)
- Спектральный анализ

**III. Вопросы** для обобщения изученного материала: какие световые явления наблюдаются на границе раздела двух сред? Что при этом происходит с энергией световой волны? Какое явление называется дисперсией света? Каково значение опытов Ньютона?

Логика познания явления раскрывается с помощью таблицы 25.

**IV. Домашнее задание:** § 53; Хрестоматия (с. 154—155); П., № 725.

## Урок 2. Интерференция света

**Задачи урока:** продолжить формирование понятия об интерференции; выделить свойства и средства описания явления интерференции света; продолжить формирование представлений о единстве природы электромагнитных волн и света; ознакомить с биографией и научной работой Томаса Юнга; раскрыть соотношение теории и опыта при становлении волновой теории света.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Повторение изученного материала	5—7	Беседа по вопросам
<b>II.</b> Изучение нового материала: явление интерференции света, его теоретическое обоснование, интерференция в тонких плёнках, объяснение картины колец Ньютона	25—30	Рассказ. Демонстрация опыта. Беседа. Записи в тетрадях. Выполнение рисунков. Работа с учебником
<b>III.</b> Решение задач	10—12	Самостоятельная работа
<b>IV.</b> Домашнее задание	1	Сообщение учителя

**I.** Учитель называет тему урока. Ставит *проблему*: изучалось ли ранее явление интерференции? Организует краткую беседу по *вопросам*: что называют интерференцией волн? При каких условиях она наблюдается? Каковы основные особенности интерференционной картины? Что происходит с энергией волн при их интерференции? Какие выводы можно сделать о природе света, если бы наблюдалась интерференция света? Можно ли свет погасить светом? Почему не наблюдается интерференция света от двух электрических лампочек?

Так в начале урока обеспечивается актуализация знаний и мотивация учебной деятельности.

**II.** Вначале вводят представление о проявлении интерференции света, о способе получения когерентных источников, об условиях образования максимумов и минимумов.

При таком подходе формирование понятий продолжается при постановке и объяснении эксперимента, выполнении рисунков, работе с учебником, решении задач. Именно эта работа оценивается на уроке.

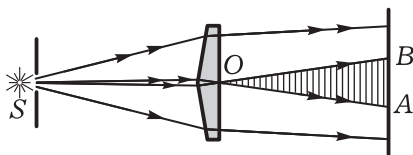


Рис. 102

Учитель демонстрирует *опыт* с бипризмой Френеля (ДЭ-2, опыт 83). Опыт требует значительной предварительной тренировки. На доске выполнен рисунок 102. Приводим *вопросы* для организации беседы: как по рисункам на доске (рис. 102, см. рис. 82) объяснить наблюдаемую на экране картину? Меняется ли с течением времени интерференционная картина? О чём это говорит? Почему интерференционная картина оказывается окрашенной? В какой области происходит интерференция? (о т в е т. В области АОВ.)

На последний вопрос ответ даёт учитель. Если же ранее изучалась дисперсия света, то отвечает ученик. Формулируют **вывод**: так как белый свет представляет собой волны разной длины волны, то условия максимумов выполняются для разных составляющих по-разному, поэтому максимумы красной и зелёной компонент света не совпадают.

*Вопрос*: можно ли на основе явления интерференции света объяснить радужную окраску мыльных пузырей, тонких плёнок нефти или керосина на поверхности воды? Для ответа демонстрируют опыт (ДЭ-2, опыт 85). В тетрадах выполняют рисунок 103. *Вопросы* для обсуждения: как в данном случае получаются два когерентных источника света? Каким образом обеспечивается постоянная разность фаз световых лучей 1 и 2 (см. рис. 103)? Наблюдается ли в данном случае интерференция в проходящем свете (лучи 1'' и 2'' на рисунке 103)? Почему для появления цветной картины необходима неодинаковая толщина плёнки?

Раздел «Кольца Ньютона» школьники самостоятельно изучают по учебнику. З а д а н и е для учащихся: изобразите, как получаются когерентные волны (рис. 7.51 учебника). *Вопросы* для обсуждения: может ли наблюдаться на данном приборе интерференция в проходящем свете?

Для каких точек в приборе выполняется условие постоянной и одинаковой разности фаз? От чего зависят радиусы колец Ньютона? Как используют кольца Ньютона для вычисления длины волны?

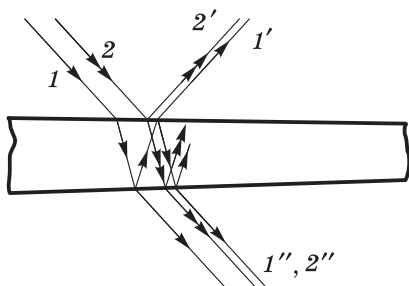


Рис. 103

**III.** Для отработки изучаемых понятий коллективно и самостоятельно решают з а д а ч и.

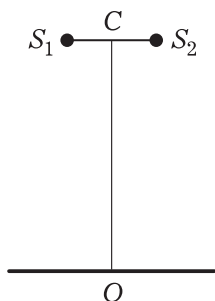


Рис. 104

1. С помощью бипризмы Френеля получены два мнимых когерентных источника света с длиной волны  $560 \text{ нм}$  (рис. 104). Определите, на каком наименьшем расстоянии от точки  $O$  на экране будет максимум освещённости, если  $OC = 3,2 \text{ м}$ ,  $S_1S_2 = 160 \text{ мкм}$ .
2. В некоторую точку на экране приходят два пучка когерентного излучения с оптической разностью хода  $2,0 \text{ мкм}$ . Что произойдёт: усиление или ослабление света? Длина световой волны  $600 \text{ нм}$ .
3. Почему меняется окраска крыльев насекомого при рассмотрении их под разными углами?

**О т в е т.** При отражении лучей от прозрачной плёнки, покрывающей крылья насекомого, образуется интерференционная картина (см. рис. 103). Положение полос равного наклона меняется, если смотреть на крылья под разными углами.

Можно решить з а д а ч и: П., № 760, 763, 764.

**IV. Домашнее задание:** § 54; упр. на с. 210 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 759.

## Урок 3\*. Применение интерференции в технике

**Задачи урока:** познакомить с широким распространением интерференции света в природе и использованием её в технике; на примере применения интерференции света раскрыть значение практики в познании природы; продолжить формирование умения качественно и количественно описывать интерференцию света.

### Ход урока

**I. Рассказ учителя** о методе «просветление оптики» может быть заменён докладом одного из школьников. При этом поясняется рисунок 7.52 учебника, демонстрируется объектив фотоаппарата, задаются и обсуждаются вопросы. Затем учащиеся решают з а д а ч у.

1. Определите толщину плёнки с показателем преломления  $1,4$ , если для монохроматического света длиной волны  $6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  получается просветление оптики линзы.

В ходе изучения нового материала обсуждают *вопросы*: как используется интерференция света для проверки качества обработки поверхностей? (Для ответа выполняется рисунок, на котором отмечаются положения детали и образца.) Что происходит с энергией световых волн  $1$  и  $2$  (рис. 7.52 учебника) при их гашении?

**II. Коллективно решают з а д а ч у.**

2. Между стеклянными пластинками с одной стороны вложили лист фольги, вследствие чего образовался воздушный клин. В проходя-

щем свете натриевого пламени на поверхности верхней пластинки видны интерференционные полосы. Расстояние между светлыми полосами 3 мм, толщина листа фольги 0,02 мм, длина пластинки 20 см. Определите длину волны света натриевого пламени. Как изменится интерференционная картина, если вложить ещё один лист фольги?

### Р е ш е н и е.

1) При падении света перпендикулярно пластинке разность хода интерферирующих волн равна удвоенной толщине воздушного клина. Для образования максимумов разность хода должна быть равна целому числу длин волн, т. е.

$$2h = n\lambda.$$

2) Запишем условие образования максимума интерференционной картины для двух соседних максимумов; учтём необходимые геометрические соотношения (выполняется рисунок).

3) Для двух максимумов имеем выражения

$$h_1 = \frac{\lambda}{2}, \quad h_2 = \frac{2\lambda}{2}.$$

С учётом геометрических соотношений

$$h_1 = l_1 \sin \alpha, \quad h_2 = l_2 \sin \alpha.$$

В ходе преобразований получаем общее решение:

$$l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}.$$

Отсюда длина волны равна 600 нм.

4) Если вложить ещё один лист фольги, то увеличится угол воздушного клина и соответственно  $\sin \alpha$ . Согласно формуле  $\Delta l = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$  расстояние между полосами интерференционной картины уменьшится. Очевидно, что при некотором угле уже невозможно различить интерференционную картину.

В конце урока выполняют экспериментальное задание по наблюдению интерференции света на мыльной плёнке. При проведении опыта коллективно обсуждают вопросы, которые учитель готовит заранее.

III. Домашнее задание: § 55\*; П., № 767.

## Урок 4. Дифракция света

**Задачи урока:** продолжить формирование представлений о дифракции волн; представить историю развития взглядов на природу света; рассмотреть проблему границ применимости геометрической оптики.

### Ход урока

I. Повторяют дифракцию электромагнитных волн. При необходимости показывают или описывают известную демонстра-

цию. Фронтально обсуждают *вопросы*: какие волновые свойства электромагнитных волн изучались ранее? В чём заключается явление дифракции волн? Каковы условия наблюдения дифракции?

II. Мысленный опыт Юнга изучают по учебнику. *Вопросы* для организации беседы: в чём выражается дифракция света в опыте (рис. 7.53 учебника)? Зачем в опыте используют непрозрачную ширму с отверстиями *В* и *С*? О чём можно судить по интерференционной картине на экране? Можно ли сделать вывод, что интерференционная картина служит своеобразным индикатором наличия дифракции?

Далее учитель рассказывает теорию Френеля. Затем демонстрирует *опыт* по дифракции света на тонкой нити или узкой щели (ДЭ-2, опыты 86, 87). По учебнику рассматривают вид дифракционных картин.

На рисунке 105 показано образование волнового фронта согласно принципу Гюйгенса—Френеля для объяснения прохождения света через отверстие (рис. 105, *а*, *б*) и препятствие (рис. 105, *в*).

На рисунке 106 приведена схема (рис. 106, *а*) и картина дифракции (рис. 106, *б*) на круглом отверстии *MN*. *Вопросы* для организации беседы: что наблюдается на экране в точках *О*, *В*, *С*, *Д*? В одинаковой ли фазе приходят в точку *В* вторичные волны от точек *А*<sub>1</sub> и *А*<sub>2</sub>? Можно ли наблюдаемую картину дифракции использовать для доказательства существования границ применимости геометрической оптики?

III. Закрепление изученных понятий. *Вопросы*: каковы границы применимости геометрической оптики согласно волновой теории света? Как объяснить на основе волновой теории, что

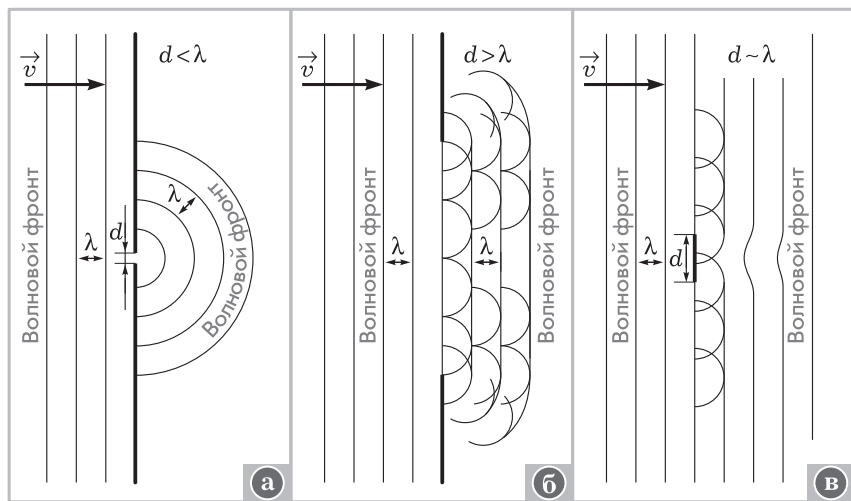


Рис. 105



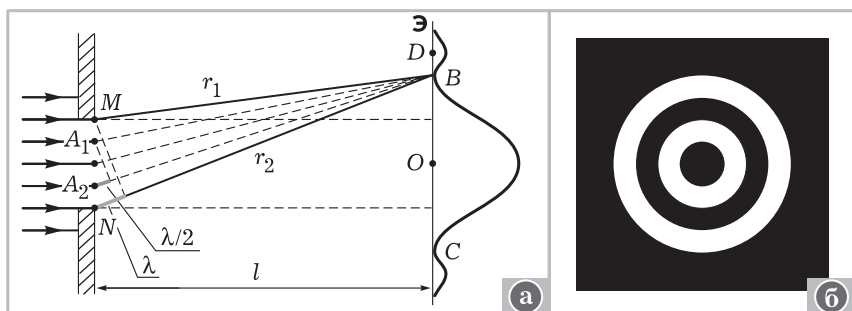


Рис. 106

частицы размером 0,3 мкм неразличимы при рассмотрении их в микроскоп? Почему нить лампочки накаливания кажется окаймлённой светлыми бликами, если смотреть на неё, прищурив глаза?

В качестве **вывода** в конце урока учитель зачитывает слова Френеля: «Только что указанные нами успехи волнового принципа показывают, что выбор между той или другой теорией не может быть безразличен. Полезность теории не ограничивается только тем, что облегчает изучение фактов... цель всякой хорошей теории должна состоять в том, чтобы содействовать прогрессу науки открытием связующих фактов...» (Хрестоматия, с. 159—160).

**IV. Домашнее задание:** § 56, 57\*; П., № 769, 770.

## Урок 5. Дифракционная решётка. Решение задач

**Задачи урока:** продолжить изучение явления дифракции света; рассмотреть практическое применение дифракции света; сформировать умение качественно и количественно описывать дифракционные картины.

### Ход урока

**I.** Один из школьников отвечает у доски на вопросы учителя и учащихся. Разрешается использовать рабочую тетрадь. Примерные *вопросы* для обсуждения: как получаются когерентные источники света в случае интерференции света в тонких плёнках? Почему не наблюдается интерференционной картины при отражении света от поверхности оконного стекла? Почему существует предел в наблюдении деталей предметов? Как доказать существование границы применимости законов геометрической оптики?

**II.** Рассказ учитель сопровождает демонстрацией *опыта* (ДЭ-2, опыт 88), показом дифракционных решёток, работой с учебником при выводе формулы для максимумов дифракционной картины.

**III.** Для отработки знаний организуется решение задач. Желательно подобрать задачи для индивидуального решения.

1. Какой наибольший порядок спектра можно видеть в дифракционной решётке, имеющей 500 штрихов на 1 мм, при освещении её светом длиной волны 720 нм? Как изменится спектр, если использовать свет длиной волны 600 нм?
2. Предложите все возможные виды задач на использование формулы для максимумов дифракционной картины.
3. Можно ли по дифракционной картине определить, какая из двух дифракционных решёток имеет больше штрихов на 1 мм?
4. Сравните дифракционный и призматический спектры; объясните их различие.
5. Какие изменения будут происходить в дифракционном спектре, если увеличивать число щелей?
6. В каком из указанных случаев проявляется дифракция света: ореол вокруг лампы уличного освещения при большой влажности воздуха, радужная окраска перламутровых пуговиц, неразличимость частиц размером 0,2 мкм при наблюдении их в микроскоп, радужные полосы при наблюдении слоя керосина на поверхности воды?
7. Изобразите на графике изменение интенсивности света в интерференционной картине опыта Юнга (рис. 7.53 учебника).

**IV. Домашнее задание:** § 58; П., № 771, 772.

## **Урок 6\*. Лабораторная работа. Решение задач**

**Задачи урока:** продолжить формирование практических и теоретических умений по наблюдению и описанию явлений интерференции и дифракции света.

### **Ход урока**

Построение урока оправдано целью при минимальных возможностях исследовать реальные физические явления.

**I.** Учитель сообщает *план работы*. Далее следует краткое фронтальное повторение по *вопросам*: что называют интерференцией света? При каких условиях явление наблюдается? Что называют дифракцией света? Почему трудно наблюдать дифракцию световых волн?

**II. Лабораторная работа** «Наблюдение интерференции и дифракции света». **Оборудование:** две чистые стеклянные пластинки небольшого размера, соломинка для выдувания мыльных пузырей, проволочное кольцо, раствор мыла, два специально закреплённых лезвия, отверстия разного диаметра в картоне или плёнке, мощная лампа с прямой нитью накала.

### **Изучение явления интерференции**

1. Чистые стеклянные пластинки положите одну на другую, прижмите и в отражённом свете на тёмном фоне поищите (особенно по краям) цветные интерференционные полосы.

Выделите особенности наблюдаемого явления: постоянная картина или нет, есть ли максимумы, окрашены ли полосы. Вид картины зарисуйте, выполните рисунок с объяснением метода образования когерентных источников света. Изучите, при каких условиях интерференционная картина изменяется. Можно ли провести опыт в проходящем свете?

2. Получите мыльную плёнку на проволочном кольце и мыльные пузыри. Как доказать, что и в этом случае наблюдается интерференционная картина? Отличается ли она от картины в опыте с пластинками? В каком свете наблюдается интерференционная картина? О чём свидетельствует изменение вида полос на мыльной плёнке? Сколько максимумов можно зафиксировать?

### Изучение явления дифракции

1. Сквозь вертикальную щель, образованную двумя пластинками, наблюдайте источник света. Можно ли заметить разделение светового потока на линии? Много ли этих линий? Какого они цвета? Чем являются окрашенные световые линии: максимумами или минимумами интерференционной картины? Почему происходит разделение белого света в спектр при прохождении им щели? Выполните рисунок картины дифракции от щели. Изменится ли наблюдаемая картина, если размер щели увеличить?

2. Пронаблюдайте дифракцию на круглом отверстии. Чем отличается вид полученной картины от картины дифракции на щели? Докажите, максимум или минимум наблюдается в центре картины. Выполните примерный рисунок наблюдаемой картины; на рисунке чётко обозначьте, как расположены цвета в спектре относительно центрального максимума.

3. Сравните дифракционные картины, получаемые с помощью полоски капрона, части грампластины или CD-диска. В каком случае спектр ярче и почему? Для пояснения ответа сделайте схематический рисунок.

III. Решение задач носит творческий характер и выполняется по вариантам.

#### Вариант I

1. Используя рисунок III (2 и 3 на цветной вклейке учебника), определите длину волны зелёного света. Длина волны красного света  $7,8 \cdot 10^{-4}$  мм. У к а з а н и е: связь радиуса кольца  $r$ , его порядкового номера  $n$ , радиуса линзы  $R$  и длины волны устанавливается формулой  $r_n = \sqrt{n\lambda R}$ .

О т в е т. Данную формулу следует применить дважды для одного и того же кольца; радиус кольца измеряется по рисунку.

2. Составьте по рисунку III несколько качественных заданий.

#### Вариант II

1. По рисунку IV (2 и 3 на цветной вклейке учебника) ответьте на вопросы: почему у красного света дифракционная картина шире?

Как изменится дифракционная картина, если дифракционную решётку заменить на другую с бóльшим периодом?

2. Составьте по рисунку IV несколько качественных заданий.

По итогам работы за решение задач учитель может поставить отдельную оценку.

**IV. Домашнее задание:** составьте (или подберите) две-три расчётные или экспериментальные задачи на волновые свойства света; упр. на с. 224 (1, 2).

## **Урок 7. Лабораторная работа «Определение длины световой волны с помощью дифракционной решётки»**

Лабораторная работа выполняется по инструкции учебника.

Контрольные *вопросы* (лучше по вариантам): как и почему изменяется вид спектра, если использовать другую дифракционную решётку? (Возможно проведение измерений.) Почему красная часть спектра любого порядка расположена дальше от центра шкалы? Сколько порядков спектра можно наблюдать с помощью данного прибора? Какие физические величины или характеристики можно определить с помощью данного прибора?

*Домашнее задание:* упр. на с. 224 (ЕГЭ); П., № 773, 774.

## **Урок 8\*. Решение задач (резерв учителя)**

## **Урок 9. Поляризация света**

**Задачи урока:** сформировать понятия «естественный свет» и «поляризованный свет»; познакомить с экспериментальным доказательством поперечности световых волн; изучить свойства поляризованного света, показать аналогию между поляризацией механических, электромагнитных и световых волн; сообщить о примерах использования поляроидов в технике.

### **Ход урока**

**I.** На первом этапе урока конкретизируют знания школьников по волновым свойствам электромагнитных волн и света. Фронтальное повторение проводится по *вопросам*: какие свойства электромагнитных волн нам известны? Какие из этих свойств характерны для света? Какие явления подтверждают волновую природу света? Что называют интерференцией света? Как можно наблюдать это явление? Что называют дифракцией света? Какой опыт по дифракции света можно поставить?

**II.** Изучение явлений интерференции и дифракции убедительно доказывает, что свет — это волна. *Учебная проблема* данного урока: какая это волна?

Решение поставленной проблемы проводится методом эвристической беседы с использованием элементов рассказа, постановки и обсуждения опытов.

В начале изучения нового материала необходимо подробно повторить и развить понятие о поперечной волне, восстановить представления о **поляризации** электромагнитных волн. Следует беседа по *вопросам*: на какие два типа делят все волны? Какие волны называют продольными? Какие волны называют поперечными? Что колеблется в поперечной механической волне? (О т в е т. Частицы среды.) К какому типу волн относится звуковая волна? К какому типу волн относится электромагнитная волна? Что колеблется в электромагнитной волне? (Рассматривают известный рисунок электромагнитной волны.) Какое название получила электромагнитная волна, в которой векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$  расположены в строго определённых плоскостях? (Следует учесть, что понятие поляризации электромагнитных волн уже введено.)

Далее учитель переходит к рассмотрению важного свойства поперечной поляризованной волны: она проходит через решётку, щели которой параллельны плоскости колебаний. Один из учеников повторяет опыт с резиновым шнуром и щелью из двух линеек. *Вопросы* для обсуждения: какую наблюдаем волну? Пройдёт ли волна через щель, если щель расположить перпендикулярно колебаниям шнура? Как влияет щель на распространение звуковых волн? (О т в е т. Не влияет.) Может ли опыт с щелью служить доказательством поперечности волны?

Проверяют вывод на примере электромагнитных волн. Повторяют *опыт* (см. рис. 86). Организуется беседа по *вопросам*: как должна быть расположена металлическая решётка, чтобы электромагнитная волна не проходила? Можно ли утверждать, что генератор излучает поляризованную электромагнитную волну? Возможен ли приём электромагнитной волны, если генератор и приёмник расположить под углом  $90^\circ$ ? Что может выполнять роль металлической решётки для световых волн? (При ответе на этот вопрос вводится понятие о поляроиде. Учитель показывает два поляроида — пластинки герпатита из набора по поляризации.)

Существуют вещества (кристаллы), свойства которых по разным направлениям разные. Например, пластинки кристалла герпатита могут пропускать световые колебания только в одной плоскости. *Вопрос* для коллективного обсуждения: почему при любом положении поляроида мы всё равно наблюдаем свет от лампы накаливания? Какую гипотезу можно высказать о плоскости и направлении колебаний векторов  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$  у обыкновенного света? (О т в е т. Излучения состоят из волн, в которых векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$  ориентированы по-разному.) Может быть, световые волны — не поперечные волны?

Излучение, в котором векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$  колеблются в разных направлениях, называют **неполяризованным** или **естественным** светом. Если свет естественный, то один поляроид всегда про-

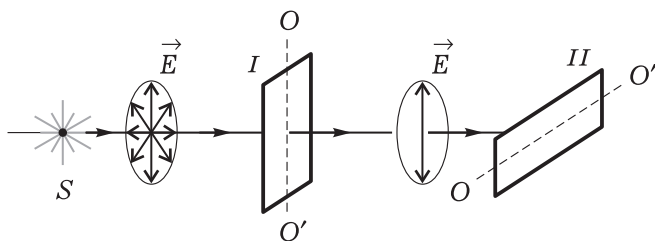


Рис. 107

пускает какую-то часть световых волн. Два перпендикулярно расположенных поляроида не должны пропускать свет. Демонстрируется известный *опыт*: ДЭ-2, опыт 91. *Вопросы* для организации беседы: почему через два поляроида, у которых оси  $OO'$  перпендикулярны друг другу, свет не проходит? (Выполняют рисунок 107.) Будет ли проходить свет, если оси  $OO'$  поляроидов расположены одинаково? (Для обоснования ответа учитель предлагает самостоятельно выполнить рисунок 108.) Почему при повороте одного из поляроидов освещённость экрана изменяется? (О т в е т. При расположении второго поляроида под углом, меньшим  $90^\circ$ , световая волна через него проходит частично (рис. 109); поляризованную волну с вектором  $\vec{E}$  можно представить как волну, состоящую из двух поляризованных волн с векторами  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ . Первая из них пройдёт через второй поляроид, но амплитуда колебаний вектора  $\vec{E}_1$  будет меньше первоначальной с вектором  $\vec{E}$ .)

Учитель сообщает школьникам, что световые волны могут быть разной степени поляризованности: неполяризованные (рис. 110, а), частично поляризованные (рис. 110, б), плоскополяризованные (рис. 110, в). Рисунки заносят в тетради. Учитель задаёт *вопросы*: можно ли на основе опытов утверждать, что световые волны связаны с поперечными колебаниями? Что в результатах опытов изменилось бы, если бы свет был связан с продольными колебаниями? Как доказать, что в естественном свете равномерно представлены волны с колебаниями вектора  $\vec{E}$  в разных направлениях?

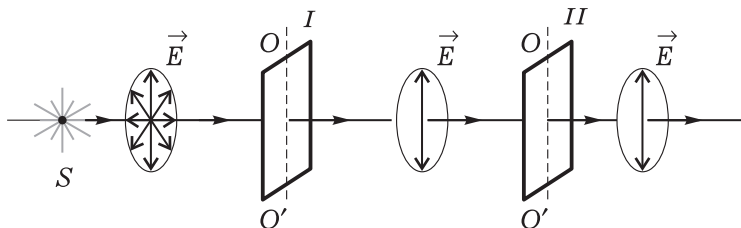


Рис. 108

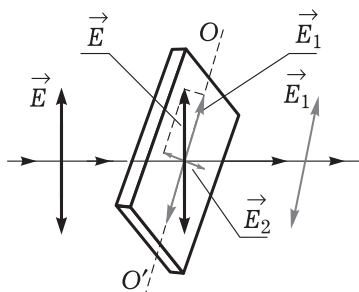


Рис. 109

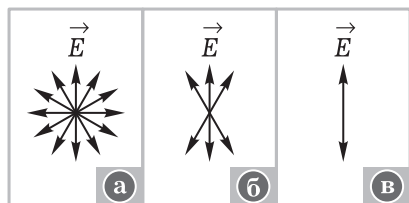


Рис. 110

При постановке *опытов* желательно продемонстрировать явление фронтально: передать по рядам две пластинки герпатита, привлечь школьников к демонстрационному варианту опыта. В частности, один из учащихся может заранее подготовить демонстрацию поляризации света при его отражении или преломлении. В конце изучения нового материала учитель описывает примеры применения поляризации: метод изучения механических и других свойств тел, система поляроидов в качестве диафрагмы и др.

**III.** Метод подведения итогов изучения нового материала — беседа, повторение наиболее важных понятий. Учитель задаёт *вопросы*: в чём заключается явление поляризации? Можно ли экспериментально доказать, что световые волны поперечны? Что называют поляроидом? Чем отличается поляризатор от анализатора? Чем отличается естественный свет от поляризованного?

**IV.** Домашнее задание: § 60; упр. на с. 227 (ЕГЭ).

## Урок 10\*. Применение поляризованного света

**Задачи урока:** закрепить представление о поляризации света; расширить кругозор и интерес школьников.

### Ход урока

**I.** У доски один из школьников повторяет и объясняет *опыт* с поляроидами (ДЭ-2, опыт 91). При подготовке ответа может быть использована тетрадь с выполненными рисунками (см. рис. 107, 108). Фронтальная беседа организуется по *вопросам*: как доказать, что световые волны являются поперечными? Чем различаются частично поляризованные и плоскополяризованные световые волны? Почему не наблюдается интерференция взаимно перпендикулярных плоскополяризованных световых волн?

Лучшим вариантом повторения является выполнение фронтальных экспериментальных заданий по наблюдению поляризации (см.: Буров В. А., Иванов А. И., Свиридов В. И. Фронтальные экспериментальные задания по физике. 10 кл.:

дидакт. материал: пособие для учителя. — М.: Просвещение, 1987).

**II.** При изучении нового материала желательно продемонстрировать один из опытов, например *опыт* по применению поляризации для исследования механических напряжений (ДЭ-2, опыты 92—95). Обсуждают *вопросы*: почему вначале экран затемнён? Почему при деформации тела экран светлеет? На основе чего судят о характере механических напряжений?

Желательно показать видеофильм о поляризации.

**III.** Повторение и отработку изученного материала осуществляют в ходе коллективного заполнения таблицы 26. Фронтально обсуждают *вопросы*: в результате чего происходит явление поляризации? С каким физическим объектом происходит это явление? Какое свойство света проявляется при поляризации? Зависит ли поперечность световых волн от их взаимодействия с веществом?

**IV.** Домашнее задание: § 60; упр. на с. 224 (3).

## Урок 11\*. Оценка информационной ёмкости CD-диска

Лабораторная работа проводится по инструкции учебника (с. 419—420).

## Урок 12\*. Решение задач

**Задачи урока:** продолжить формирование понятий из волновой теории света.

### Ход урока

При проведении урока учитель использует различные задачи, дидактический материал. Важно реализовать даже минимальную возможность для постановки экспериментальных задач. Примеры з а д а ч.

1. Могут ли две звезды на небе быть когерентными источниками света?
2. Объясните, почему дифракция волн не исключает прямолинейного распространения света в однородной среде.
3. Как изменится интерференционная картина, если увеличить число щелей? уменьшить расстояние между ними?
4. Почему в центральной части спектра, полученного при освещении дифракционной решётки белым светом, всегда наблюдается белая полоса?

**О т в е т.** Положение центрального максимума не зависит от длины волны; сложение волн даёт белую полосу.

5. Под каким углом виден спектр второго порядка при освещении дифракционной решётки с периодом  $5 \cdot 10^{-3}$  мм светом длиной волны 656 мкм?



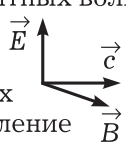
## Поляризация света

### Факты

- Поляризация — физическое явление выделения плоскополяризованного света из естественного
- Два типа волн: а) продольные: б) поперечные:
 

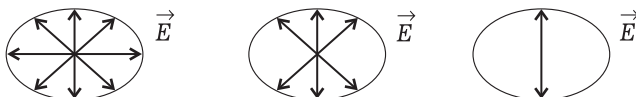
$\longleftrightarrow \longrightarrow \vec{v}$

$\updownarrow \longrightarrow \vec{v}$
- Поперечность — свойство электромагнитных волн:
 

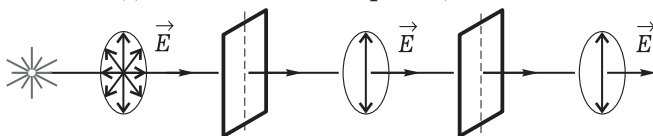

- Основные свойства явления поляризации: а) проявляется для любых поперечных волн; б) результат — выделение волн определённых колебаний; в) результат зависит от среды (анизотропия); г) явление возможно при отражении и преломлении

### Модель

- Степень поляризации световых волн:  
 а) неполяризованный (естественный) свет:    б) частично поляризованный свет:    в) плоскополяризованный свет:



- Модель явления поляризации:



### Следствия. Применения

- Поперечность — свойство световых волн
- Гашение бликов в фотографии
- Исследование деформаций
- Поляриды на фарах и ветровых стёклах автомобилей
- Применение в астрономии

6. Изменится ли дифракционная картина, если закрыть часть дифракционной решётки?
7. Какой наибольший порядок спектра можно наблюдать при падении на дифракционную решётку с периодом  $1,2 \cdot 10^{-3}$  см света длиной волны  $5 \cdot 10^{-7}$  м?
8. Как и почему изменяется интерференционная картина, если за двойной щелью поместить аквариум с водой? Оборудование: лазер, двояковогнутая линза № 3, двойная щель, аквариум среднего размера с водой, экран.
9. Предложите и опишите метод определения периода дифракционной решётки. Выполните эксперимент.
10. Как и почему будет меняться интерференционная картина при последовательном использовании светофильтров красного, зелёного, синего цвета?

**Примечание.** При решении последней задачи можно использовать рисунок III цветной вклейки учебника; при решении трёх последних задач эксперимент с лазером ставит учитель.

*Домашнее задание:* § 59\*; упр. на с. 224 (4, 5); П., № 775.

## Глава IX. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В начале XX в. возникла новая физическая теория — **специальная теория относительности (СТО)**. Она уточнила и углубила представления о свойствах пространства и времени, ответила на принципиальные вопросы о познании физических явлений в разных инерциальных системах отсчёта. СТО как система знаний является фундаментальной в физике. Фундаментальной потому, что в СТО формулируются общие закономерности познания (описания) явлений в пространстве и во времени (в системах отсчёта).

Идеи СТО возникли при рассмотрении электродинамики движущихся тел. При введении новых представлений в электродинамике следует опираться на два положения (опытных): постоянство скорости распространения электромагнитных волн (света) и зависимость силы взаимодействия зарядов от выбора инерциальной системы отсчёта (ИСО). Эти положения оказались несовместимыми с представлениями классической механики о пространстве и времени. Возникла научная проблема — построить новую теорию.

Содержание школьного курса СТО идейно строится как расширение представлений механики на движение тел с большими скоростями. Структурно выделяют три части СТО: исходные положения, кинематику и динамику. При планировании на изучение темы отводят 4—6 ч; при углублённом изучении отводят 8—9 ч.

При разработке методики изучения темы следует учесть, что для школьников имеется богатый выбор литературы, например:

Л о м и з е Л. Г. Из школьной физики — в теорию относительности: Книга для внеклассного чтения учащихся 9—11 кл. — М.: Просвещение, 1991.

Школьникам о современной физике: Акустика. Теория относительности. Биофизика. — М.: Просвещение, 1990.

## Урок 1. Классическая физика и постулаты СТО

**Задачи урока:** показать необходимость развития представлений о пространстве и времени; повторить основные принципы механики; ввести и обосновать постулаты СТО.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение	7—10	Сообщение учителя. Постановка учебной проблемы
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Беседа. Записи в тетрадях
III. Отработка знаний	10	Работа с учебником. Решение задач
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	5	Ответы на вопросы. Обобщение

I. При разработке любой новой физической теории учёные опираются на какие-то общие идеи и методы познания. Учитель предлагает обсудить важнейшие положения, которые послужили основанием для поиска и определения физических закономерностей СТО.

1. Для начала повторяют основные понятия физики, которые используются и в специальной теории относительности. (Учитель может задать вопросы, подвести к нужным ответам.)

**Инерциальная система отсчёта (ИСО)** — это система отсчёта (система координат, тело отсчёта и часы), относительно которой свободное тело движется прямолинейно и равномерно или покоится. ИСО — это абстракция, идеальный объект науки, средство описания явлений. В природе ИСО нет.

**Событие** — это любое физическое явление, происходящее в определённой точке пространства относительно любой ИСО в некоторый момент времени. Событие — абстракция, модель явления.

**Постулат** — исходное положение, утверждение, принимаемое без строгого доказательства, но обоснованное, например, экспериментами.

**Собственной инерциальной системой отсчёта** называют систему отсчёта, относительно которой тело покоится. Время движения тела, измеренное в такой системе, называют **собственным**

**временем.** Массу тела, измеренную в такой системе, называют **массой покоя**.

**Инвариант (inv)** — величина, независимая от выбора ИСО, например скорость света. Событие тоже инвариант.

2. В механике для определения и изучения движения (в целом явлений) необходимо выбрать систему отсчёта. Самая «удобная» из систем отсчёта — инерциальная система отсчёта. В ней невзаимодействующее тело движется прямолинейно и равномерно или покоится. По определению ИСО множество: если есть одна, то любая другая, движущаяся относительно первой прямолинейно и равномерно, тоже инерциальная. Естественно, перед учёными встал вопрос: как описывать явления в разных ИСО, как согласовывать эти описания?

Для ответа ещё в XVII в. Г. Галилей сформулировал один из важнейших принципов физики — **принцип относительности**. Галилей утверждал, что все инерциальные системы отсчёта равноправны, т. е. механические явления при равных начальных условиях протекают одинаково во всех инерциальных системах. А раз так, то и описывать явления следует одинаково (одинаковыми законами) в разных ИСО. При переходе от описания движения тела в одной ИСО ( $K$ ) к описанию в другой ИСО ( $K_1$ ) (рис. 111), в частности, используется простой закон сложения скоростей:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_0.$$

В классической механике, согласно принципу дальнего действия, скорость передачи взаимодействия бесконечна; поэтому она по определению инвариантна в разных ИСО. Второй закон Ньютона одинаков в разных ИСО: а) масса — скалярная величина и inv; б) ускорение, т. е. изменение скорости в единицу времени, в разных ИСО — inv; в) так как  $m\vec{a} = m\vec{a}_1$  и  $\vec{F} = \vec{F}_1$ , значит, второй закон одинаков в разных ИСО.

И всё было хорошо до открытия и изучения электромагнитных волн. В ходе различных экспериментов (ссылка на опыты Майкельсона) учёные пришли к выводу о том, что скорость электромагнитных волн в вакууме постоянна и конечна вне зависимости от выбора ИСО. Абсолютность (инвариантность) скорости света вступила в противоречие с классическим законом сложения скоростей. Возникла *научная проблема*: справедлив ли принцип относительности?

II. Как согласовать между собой принципы механики и закономерности электродинамики? Этот вопрос и решил

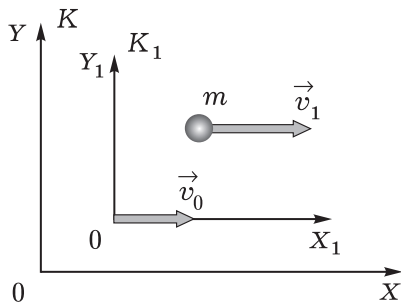


Рис. 111

в 1905 г. гениальный физик А. Эйнштейн (1879—1955). Он постулировал радикально: обобщил принцип относительности Галилея, применив ко всем физическим процессам, и объединил его с постулатом о постоянстве скорости света. (По учебнику формулируют постулаты.)

Объединить в систему противоречащие друг другу постулаты оказалось возможным только за счёт революционного уточнения представлений о пространстве и времени. В качестве примера рассматривают ситуацию с распространением светового сигнала в двух ИСО (рис. 8.1 учебника). Способ выхода из этого противоречия будет обсуждаться на следующем уроке. (Необходимо хотя бы кратко рассказать о личности и трудах А. Эйнштейна, порекомендовать для чтения одну-две книги о нём; как вариант возможен доклад ученика.)

**III—IV.** При отработке знаний и подведении итогов обсуждают вопросы и решают задачи. *Вопросы:* чем отличается принцип относительности Галилея от первого постулата СТО? Может ли в СТО инерциальная система отсчёта двигаться с бесконечной скоростью? (О т в е т. Нет.) Существует ли, согласно СТО, привилегированная инерциальная система отсчёта? Что такое событие? Является ли событие инвариантом в классической механике? в СТО? Являются ли инвариантом координаты тела в механике? в СТО? Зависит ли кинетическая энергия материальной точки от выбора системы координат?

*Домашнее задание:* § 61\*, 62 (1-я часть); упр. на с. 235 (ЕГЭ).

## Урок 2. Относительность одновременности. Кинематика СТО

**Задачи урока:** конкретизировать представления о пространстве и времени на основе постулатов СТО; получить следствия, рассматривая относительность расстояний и промежутков времени; обосновать новый закон сложения скоростей.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Фронтальное повторение	8—10	Ответы на вопросы. Решение задачи у доски
II. Изучение нового материала: проблема определения одновременности событий в разных ИСО, кинематические эффекты СТО	20—25	Рассказ учителя. Записи в тетрадях. Работа с учебником
III. Отработка знаний. Домашнее задание	10	Решение задач. Беседа

### 1. Фронтальное повторение.

II. Достаточно трудным для изучения является понятие об относительности одновременности. По возможности кратко материал излагает учитель.

1. Со времён Ньютона сложились представления об абсолютности свойств пространства и времени. Пространство во всех точках и по всем направлениям имеет одинаковые свойства, время во всех точках течёт одинаково и не зависит от движения тела. До Эйнштейна время и измерение времени были отделены друг от друга. Выбор ИСО, измерение длины и времени осуществляются в ходе физических экспериментов. А все измерения дают неточные значения физических величин, и значит, на практике реально существует неточность в выборе ИСО, в определении длины тела, времени события. Вообще, все числа, которыми оперирует физика, — числа приближённые. Значит, свойства пространства и времени, во-первых, не так уж абсолютны, во-вторых, их определяют в конкретных экспериментах.

2. Для этих конкретных экспериментов принципиальным и жёстким ограничением явилась конечность и предельность скорости света. В природе не оказалось (пока!) взаимодействий, которые осуществлялись бы с большей скоростью. Для того чтобы на опыте убедиться в одинаковости хода времени в двух разделённых областях пространства, необходимо сравнить ход часов в этих областях, или, как говорят, синхронизировать часы. Очевидно, это проще всего сделать с помощью светового сигнала, который имеет одинаковую и постоянную скорость во всех ИСО. Мысленно пронаблюдаем за этим процессом с точки зрения двух ИСО —  $K_1$ , в которой корабль неподвижен, и  $K$ , относительно которой ИСО  $K_1$  и, естественно, корабль движутся (рис. 8.2 учебника). В середине корабля происходит вспышка света. В первом случае (ИСО  $K_1$ ) свет одновременно достигает часов, их включают (синхронизируют), и они идут. Если, например, через час при такой синхронизации показания часов будут одинаковы, то время в этих точках (областях) течёт одинаково. Во втором случае (ИСО  $K$ ) наблюдатель, относительно которого корабль движется, видит, что до часов  $A$  свет дошёл раньше, чем до часов  $B$ . Относительно данного наблюдателя корабль движется, и часы  $A$  приближаются к месту вспышки, а часы  $B$  удаляются. **Вывод** принципиально важен: одновременность пространственно разделённых событий относительна.

С точки зрения наблюдателя в одной ИСО, события одновременны, с точки зрения другого наблюдателя в другой ИСО, эти же события произошли не одновременно. (Один из школьников зачитывает фрагмент учебника с объяснением парадокса в описании распространения сферических световых сигналов в разных ИСО.)

3. В механике Ньютона при мгновенной скорости распространения взаимодействий одно тело причинно связано с любым другим телом, на которое может действовать. В специальной тео-

рии относительности ситуация другая: если между событиями (т. е. явлениями в данной точке пространства в данный момент времени) в двух разделённых областях прошло меньше времени, чем требуется свету для прохождения между этими точками, то такие события в принципе не могут быть причинно связаны между собой. Таким образом, СТО существенно обогащает наши представления о взаимосвязи явлений в мире. В частности, выясняется, что не всё со всем связано.

4. В кинематике СТО выясняется связь между длиной, временем, скоростью, измеренными в собственной системе и в движущейся инерциальной системе отсчёта.

Длина  $l$  стержня, измеренная в ИСО, относительно которой стержень движется со скоростью  $v$ , будет равна:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

где  $l_0$  — собственная длина стержня.

Из формулы видно, что длина  $l$  стержня, измеренная в движущейся ИСО, будет меньше собственной длины стержня. Важно подчеркнуть, что во множестве равноправных ИСО у одного и того же стержня имеется множество значений длины.

Пусть между двумя событиями в собственной системе отсчёта прошло время  $\tau_0$ , тогда в движущейся со скоростью  $v$  ИСО интервал времени между этими же событиями уже будет выражен так:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Таким образом, в ИСО, движущейся относительно собственной системы отсчёта, интервал времени между событиями уменьшается. Причём это зависит от скорости самой системы отсчёта. Поскольку равноправных ИСО множество, движутся они с разными скоростями, то и время между двумя событиями с точки зрения этих ИСО будет самое разное. Парадоксально, но факт: в СТО время между двумя событиями относительно — может быть большим или меньшим — всё зависит от выбора ИСО.

Явления сокращения размеров тела, замедления времени между двумя событиями с точки зрения движущейся системы отсчёта получили название **релятивистских эффектов**. Это чисто кинематические эффекты; они не вызваны какими-либо материальными причинами, а обусловлены нашими особенностями описания явлений в разных ИСО.

**Индивидуально.** Хотя время между двумя событиями и длина отрезка (стержня) относительно, т. е. различны в разных ИСО, имеется и инвариантная характеристика. Она называется интервалом  $s$ . Его можно определить следующим образом.

Возводим в квадрат формулу для времени:

$$\tau^2(1 - v^2/c^2) = \tau_0^2, \quad \text{или} \quad \tau^2 c^2 - \tau^2 v^2 = \tau_0^2 c^2 = \text{inv},$$

так как скорость света и собственное время — инвариантные величины. По смыслу  $vt$  — это расстояние  $R$ , на которое переместилась частица. Вводим обозначения и получаем

$$s^2 = \tau^2 c^2 - R^2 = \text{inv}.$$

Новый закон сложения скоростей рассматривают по тексту учебника. Формулировка закона такова, что автоматически выполняется второй постулат СТО.

**III.** Решают типичные задачи: П., № 776, 779, 781; упр. на с. 244 (1).

*Вопросы* для повторения: существуют ли в природе инерциальные системы отсчёта? Что такое событие в СТО? Может ли событие в одних ИСО быть, а в других ИСО нет? Как на практике устанавливают одновременность пространственно разделённых событий? Какой фундаментальный экспериментальный факт потребовал уточнения классических представлений о пространстве и времени?

*Домашнее задание:* § 62, 63; упр. на с. 238 (ЕГЭ); П., № 784.

### Урок 3. Релятивистская динамика. Решение задач

**Задачи урока:** продолжить отработку представлений об основных идеях СТО и кинематических эффектах СТО; ввести основные сведения о динамике СТО; организовать первичное закрепление новых знаний.

#### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	10	Фронтальный опрос. Решение задач
II. Изучение нового материала	15—20	Рассказ учителя. Записи в тетрадях. Работа с учебником
III. Отработка знаний	10—15	Коллективное решение задач
IV. Выделение главного. Домашнее задание	3—5	Ответы на вопросы

I. Повторение ранее изученного материала проводят с целью отработки знаний, поэтому у доски решают одну новую типичную задачу, фронтально разбирают решение домашней задачи, устно повторяют основные теоретические сведения.



II. Основной закон динамики Ньютона согласно постулатам СТО несправедлив. Школьники зачитывают абзац из учебника: «Но при больших скоростях движения...» (с. 239). Так ставится учебная проблема урока — уточнить содержание понятий и законов механики.

1. В СТО содержание **основных понятий динамики** — массы, импульса, энергии — обогащается.

В системе отсчёта, в которой тело покоится, его массу называют массой покоя и иногда обозначают  $m_0$ . Массу же тела в любой ИСО определяют по формуле

$$m^2 = \frac{E^2}{c^4} - \frac{p^2}{c^2}.$$

В СТО масса от скорости не зависит, она инвариант; в СТО масса неаддитивна в отличие от массы в классической механике. Отсюда и импульс тела (частицы) определяется так:

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Фундаментальное соотношение релятивистской механики для взаимосвязи энергии и импульса имеет вид

$$E^2 = c^2 p^2 + c^4 m^2, \text{ или } E^2 - c^2 p^2 = c^4 m^2, \text{ или } m^2 = \frac{E^2}{c^4} - \frac{p^2}{c^2}.$$

Данные соотношения справедливы во всех ИСО, т. е. являются инвариантом. Для покоящейся частицы из них следует формула Эйнштейна  $E_0 = mc^2$ , определяющая **энергию покоя**.

Наконец, закон сохранения энергии тела (частицы) выполняется и в СТО, только в изменённом виде:

$$mc^2 + U = \text{const.}$$

2. **Основной закон релятивистской динамики** имеет вид, совпадающий с формулировкой Ньютона:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}.$$

Но его содержание существенно изменилось. В уравнение входит релятивистский импульс.

3. **Принцип соответствия.** Создание специальной теории относительности не разрушило классической механики. При скоростях движения тела, значительно меньших скорости света (что чаще всего мы и наблюдаем), формулы СТО дают те же результаты. Докажем это.

Если  $v_0, v_1 \ll c$ , то релятивистская формула сложения скоростей переходит в формулу Галилея. Из формулы  $v = \frac{v_1 + v_0}{1 + v_1 v_0 / c^2}$  получаем  $v \approx v_1 + v_0$ .

Классический закон сложения скоростей выполняется тем точнее, чем скорость тела и скорость системы отсчёта меньше скорости света.

В формуле для релятивистского импульса при скоростях движения, значительно меньших скорости света, выражение  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$  примерно равно единице,  $\vec{p} = m\vec{v}$ .

Уравнение релятивистской динамики при малых скоростях движения тела с большой точностью переходит в уравнение второго закона Ньютона.

В целом СТО как теория определила границы применимости классической механики.

**III.** Объясняя понятия и законы СТО, следует довольно чётко их сформулировать, а раскрытие смысла и более подробные обоснования оставить на этап решения задач. Если при решении типичных задач фронтально по вопросам проводить отработку теории, то можно надеяться на усвоение основных идей и результатов СТО. Предлагаем для решения з а д а ч и.

1. Каким импульсом обладает электрон при движении со скоростью  $0,8c$ ?
2. Солнце каждую секунду излучает энергию, примерно равную  $3,8 \cdot 10^{26}$  Дж. Оцените, на сколько ежегодно уменьшается масса Солнца.
3. Оцените, сколько времени потребуется современной атомной станции для выработки энергии, заключённой, согласно СТО, только в 1 кг вещества. (Индивидуально.)
4. Два космических корабля движутся навстречу друг другу со скоростями  $v_1 = 0,8c$  и  $v_2 = 0,8c$ , измеренными наблюдателем на Земле. С какой скоростью второй корабль движется относительно первого?

**IV. Домашнее задание:** § 64, 65\* (1, 3); упр. на с. 245 (2, 3).

## Урок 4\*. Релятивистская динамика. Решение задач (продолжение)

**Задачи урока:** продолжить отработку основных положений динамики СТО; систематизировать и обобщить изученный материал.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Повторение и отработка изученного материала	15—20	Решение задач. Ответы на вопросы. Записи в тетрадях
<b>II.</b> Систематизация и обобщение знаний	10—15	Заполнение таблицы. Работа с учебником
<b>III.</b> Подведение итогов. Домашнее задание	3—5	Выделение главного. Выводы учителя

# Специальная теория относительности

## Основание

- Идеи классической механики о пространстве и времени
- Постоянство скорости электромагнитных взаимодействий (света)
- Результаты опыта Майкельсона

## Ядро теории

- Постулаты СТО
- Преобразования координат и времени при переходе из одной ИСО в другую — преобразования Лоренца (в частности, относительность одновременности):

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y = y'; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- Основной закон релятивистской динамики  $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$
- Энергия движущейся частицы  $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
- Инварианты теории:  $m, c$ , интервал,  $E^2 - p^2 c^2 = \text{inv}$

## Следствия

- Кинематические следствия:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad v = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}$$

- Понятие об энергии покоя:  $E = mc^2$
- Решение прикладных задач

I. У доски двое школьников решают домашние (или подобные) задачи. *Вопросы* для фронтального повторения: какие аргументы можно привести в доказательство инвариантности события? Какие инвариантные характеристики объектов известны в СТО? (Событие, скорость света, пространственно-временной интервал, масса, энергия покоя, внутренняя энергия, заряд и др.) В чём смысл первого постулата СТО? *Вопросы* для коллективного обсуждения: выполняется ли третий закон Ньютона, согласно СТО, для взаимодействия двух частиц на большом расстоянии друг от друга? (О т в е т. Нет, в общем случае не выполняется; изменение положения одной частицы не влияет мгновенно на движение другой.) Выполняется ли первый закон динамики в СТО?

II. Одним из вариантов обобщения знаний является коллективное заполнение таблицы 27.

Содержание фиксируемых знаний повторяется, их статус обосновывается.

III. Подведение итогов урока и темы происходит при обсуждении *вопросов*: что называют теорией? Какова её структура? Почему так велико было значение построения СТО в начале XX в.? Каковы основные идеи СТО? Можно ли назвать СТО теорией инвариантов? Имеет ли СТО как теория практическое значение? Где применяются знания СТО?

*Домашнее задание*: § 65\* (4—6); упр. на с. 245 (4, 6); индивидуально — П., № 788, 796.

## Глава X. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА КАК ТЕОРИЯ

Выделение особой главы в качестве обобщения изученного материала сделано с целью подчеркнуть мировоззренческую значимость изучения электродинамики. Можно выделить несколько уроков в качестве повторения ранее изученного материала. Это предусмотрено программой, но очевидно, что рассматриваемые вопросы выходят за рамки просто оптики.

Электродинамика изучалась на протяжении длительного времени, поэтому так необходимо подвести общие итоги, выделить главное, ещё раз установить связи явлений. По нашему мнению, уместно изучать спектры в атомной физике. При таком подходе тема выглядит гармоничнее.

Систематизация содержания и отбор приёмов деятельности школьников выполнены с целью выделения и освоения метода научного познания.

### Урок 1\*. Повторительно-обобщающий урок. Волновая и геометрическая оптика

**Задачи урока:** обобщить знания о свете; продолжить формирование умения объяснять световые явления; углубить знания об истории развития представлений о свете.

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Организационный момент урока	2—3	Сообщение учителя
II. Самостоятельная работа	15—20	Решение задач. Подготовка к ответу у доски
III. Совершенствование знаний и умений	15—20	Выступления школьников. Беседа. Использование таблиц
IV. Подведение итогов урока. Домашнее задание	3—5	Ответы на вопросы. Запись на доске

I. Учитель сообщает план работы на уроке, приглашает учащихся к доске с тетрадями для подготовки к задан и я м.

1. Приведите доказательства электромагнитной природы света. Сделайте записи на доске, выполните рисунки.
2. Расскажите об основных средствах описания (понятия, формулы, законы и др.) световых явлений. Подготовьте таблицу: первый столбик — волновая оптика, второй — геометрическая оптика.

Во время подготовки школьников учитель может при необходимости их консультировать.

II. Класс выполняет на листочках *самостоятельную работу* № 1031Т из книги: Мартынов И. М., Хозяинова Э. Н., Буров В. А. Дидактический материал по физике: 10 кл. / под ред. В. А. Бурова. — М.: Просвещение, 1980. (Или используется иной подходящий текст.)

III. Далее слушают выступления школьников у доски. Учитель вовлекает класс в беседу по вопросам.

*Вопросы* для обсуждения: какое явление называют интерференцией? Какие физические величины и законы используются для описания интерференции света?

Один из школьников выступает с докладом по работе О. Френеля «О свете» (Хрестоматия). В докладе раскрывается роль гипотезы и опыта в науке, зачитываются наиболее яркие выводы, приводятся краткие данные о биографии учёного.

Подведение итогов урока проводится в форме фронтального опроса. *Вопросы*: с какими из световых явлений мы встречаемся ежедневно? Какой свет от Солнца достигает поверхности Земли: естественный или частично поляризованный? Можно ли экспериментально доказать поперечность световых волн? Приведите примеры применения световых волн в технике.

На уроке используются таблицы 28, 29.

IV. *Домашнее задание*: решение типичных задач, например, упр. на с. 245 (ЕГЭ); П., № 710, 715, 718.

## Волновая оптика

Явление	Определение	Проявление света
Дисперсия	Зависимость скорости распространения волны от частоты	Что происходит при прохождении белого света через призму? Почему радуга имеет форму дуги?
Интерференция	Сложение волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуды результирующих колебаний	Можно ли свет погасить светом? В чём суть метода, названного «просветление оптики»?
Дифракция	Огибание волнами препятствий	Отличается ли дифракционный спектр от дисперсионного? Почему легче наблюдать дифракцию звука, чем света?
Поляризация	Явления, обусловленные поперечностью световых волн	Чем отличается естественная световая волна от поляризованной? Почему солнцезащитные очки бывают с поляроидами?

## Использование света

### Оптические приборы

Проекционные аппараты  
Фото- и киноаппараты  
Телескопы  
Спектроскопы

### Метрология

Эталон метра  
Контроль за качеством обработки поверхностей  
Спектральный анализ. Осциллография  
Лазерная локация планет  
Лазерные интерферометры

### Связь

Телевидение  
Фототелеграф. Оптическая связь: семафор,  
телефон на основе волоконной оптики и др.

### Электроника

Фотоэлементы, солнечные батареи  
Оптоэлектроника

### Светотехника

Источники света. Лазерный скальпель  
Лазерная сварка. Голография  
Просветление оптики

## Урок 2. Шкала электромагнитных волн. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучения

**Задачи урока:** познакомить с видами электромагнитных волн (излучений), изучить свойства инфракрасного и ультрафиолетового излучений, раскрыть качественные изменения свойств

электромагнитных волн по мере увеличения их частоты; продолжить формирование интеллектуальных умений по наблюдению и описанию физических явлений.

Урок проходит в форме лекции с элементами беседы.

### Ход урока

**I. Постановка учебной проблемы** урока начинается с обсуждения *вопросов*: что понимают под электромагнитными волнами? Какие виды электромагнитных волн мы изучали? Каковы основные характеристики электромагнитной волны? Чем отличаются радиоволны от световых волн?

Электромагнитные волны могут быть разной частоты (длины волны). В настоящее время все известные электромагнитные волны объединены в шкалу по принципу возрастания частоты. Вся шкала разделена на диапазоны по способу излучения электромагнитных волн: низкочастотные — электрические генераторы; радиоволны — вибратор Герца, антенны; инфракрасные лучи — нагретые тела; световые волны — лампы накаливания; ультрафиолетовые лучи — дуговая лампа; рентгеновские лучи — торможение заряженных частиц; гамма-лучи — распад атомов. Условно до инфракрасного излучения источником электромагнитных волн являются переменные токи, все остальные электромагнитные волны излучаются при возбуждении атомов и молекул, при взаимодействии заряженных частиц в процессе распада атомов и т. д.

Учитель использует таблицу «Шкала электромагнитных волн», школьники работают с форзацами учебника.

Уместно обсудить *вопросы*: есть ли резкая граница между видами излучений? С какими видами излучений мы встречаемся в быту? Какие примеры устройств для регистрации излучений можно привести?

Учитель объясняет порядок заполнения таблицы (см. ниже), предлагает эту работу в качестве домашнего задания.

Вид излучения	Диапазон длин волн	Источник	Свойства	Применение

**II. Закреплять** изученный материал следует по *вопросам*: как можно обнаружить инфракрасное (ультрафиолетовое) излучение? При каких условиях тело является источником инфракрасного излучения? Какие вещества поглощают эти лучи? Где и для каких целей используют инфракрасные (ультрафиолетовые) лучи? Как экспериментально подтвердить волновую природу инфракрасного (ультрафиолетового) излучения? Где в быту мы встречаемся с инфракрасным (ультрафиолетовым) излучением?

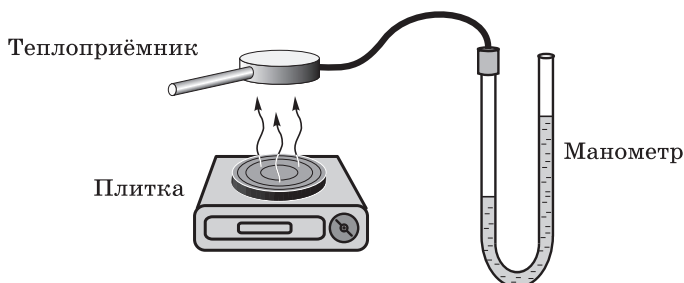
Закрепление изученного материала будет эффективнее при сочетании беседы с проведением эксперимента (ДЭ-2, опыты 104, 105, 108).



# Инфракрасное излучение

## Факты

- **Источники волн** — все нагретые тела
- **Опыт по наблюдению излучения**



- **Основные свойства излучения:**  
 а) невидимое; б) все свойства электромагнитных волн (отражение, поглощение и др.); в) тепловое и химическое действия; г) вода, водяные пары непрозрачны

## Модель

- Инфракрасное излучение — это электромагнитные волны диапазона:  
 $8 \cdot 10^{-7} \text{ м} < \lambda < 10^{-4} \text{ м}; 3 \cdot 10^{11} \text{ Гц} < \nu < 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$

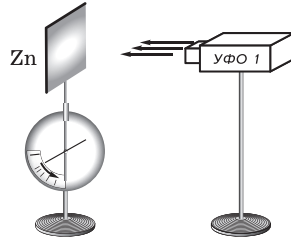
## Следствия . Применения

- Медицина: физиотерапия (нагревание тканей организма)
- Промышленность: сушка и подогрев материалов, специальная фотография и др.
- Научные исследования: навигация, локация, космическая связь
- Военная техника: самонаводящиеся ракеты, приборы ночного видения, тепловые локаторы

# Ультрафиолетовое излучение

## Факты

- **Источники** — все тела, нагретые до температуры выше  $3000^{\circ}\text{C}$  (Солнце, звёзды, плазма, электрическая дуга и др.)
- **Опыт по наблюдению излучения:**
- **Основные свойства излучения:**
  - а) невидимое; б) все свойства электромагнитных волн (отражение, поглощение и др.);
  - в) сильное биологическое действие (убивает болезнетворных микробов, влияет на ЦНС); г) ионизация воздуха;
  - д) химическое действие (на люминесцентный экран, фотобумагу и др.); е) кварц прозрачен, стекло непрозрачно



## Модель

- Ультрафиолетовое излучение — это электромагнитные волны диапазона:

$$10^{-9} \text{ м} < \lambda < 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}; \quad 8 \cdot 10^{14} \text{ Гц} < \nu < 3 \cdot 10^{16} \text{ Гц}$$

## Следствия . Применения

- Медицина: бактерицидные лампы
- Промышленность: строительство, ртутные лампы, специальная фотография и др.
- Наука: астрономия, химия, дефектоскопия и др.
- Сельское хозяйство: сушка овощей, зерна и др.

Наиболее простым вариантом является постановка опытов с излучателем ультрафиолетовых волн из набора по фотоэффекту. Наблюдаются следующие свойства излучения: поглощение излучения обычным стеклом, отражение пучка ультрафиолетовых волн от пластинки алюминия, ионизация воздуха и др. По таблицам задают вопросы на статус знаний.

Записи в тетрадях можно оформить в виде таблиц 30, 31.

*Домашнее задание:* § 66, 68 (часть); заполнение таблицы.

## Урок 3\*. Рентгеновское излучение

**Задачи урока:** изучить историю открытия, свойства и применение рентгеновских лучей; продолжить формирование представлений о единстве природы электромагнитных волн.

### Ход урока

**I. Фронтальное повторение изученного материала (10—15 мин)** целесообразно организовать вместе с проведением эксперимента (ДЭ-2, опыты 105, 106 и др.). Методика использования опытов может быть разной. Если опыт не показывался, то лучше на его основе сформулировать несколько качественных заданий. При повторении эксперимента удобнее использовать беседу по *вопросам*: как экспериментально доказать существование инфракрасного излучения? Отражаются ли от предметов инфракрасные лучи? (Используются лист чёрной бумаги, алюминиевая фольга и др.) Пропускает ли оконное стекло инфракрасные лучи? Можно ли считать инфракрасные лучи монохроматической волной? Излучает ли нагретый утюг инфракрасные лучи? Какие опытные факты позволяют утверждать существование ультрафиолетового излучения? Чем отличается ультрафиолетовое излучение от инфракрасного, видимого света? Почему стеклянная призма непригодна для получения спектра ультрафиолетового излучения? Почему медицинскую лампу, дающую ультрафиолетовое излучение, называют горным солнцем?

**II. Изучение материала** можно организовать в форме *самостоятельной работы* с учебником при заполнении таблицы 32. Обсуждаются отдельные элементы содержания: опыт по изучению рентгеновских лучей, опыт Лауэ (рис. 112). Следствия полнее отражены в таблице 33.

*Вопросы* для организации беседы: какова природа рентгеновского излучения? Как можно обнаружить рентгеновское

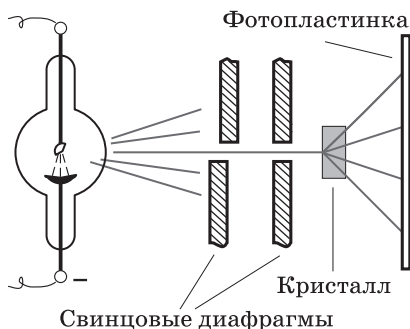


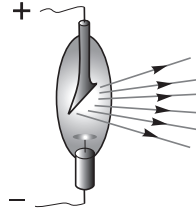
Рис. 112

# Рентгеновское излучение

## Факты

- **Источники** — рентгеновская трубка, Солнце, звёзды
- **Опыт по наблюдению излучения:**

Рентгеновская  
трубка



- **Основные свойства излучения:**
  - а) невидимое; б) все свойства электромагнитных волн (отражение, поглощение и др.); в) сильное биологическое действие; г) ионизация воздуха; д) химическое действие (на фотопластинку и др.); е) высокая проникающая способность

## Модель

- Рентгеновское излучение — это электромагнитные волны очень короткой длины волны:  
 $10^{-14} \text{ м} < \lambda < 10^{-9} \text{ м}; \quad 3,7 \cdot 10^{15} \text{ Гц} < \nu < 3 \cdot 10^{20} \text{ Гц}$
- Образуются в результате торможения анодом быстрых электронов

## Следствия . Применения

- Медицина: рентгенограммы
- Техника: рентгеновская дефектоскопия
- Наука: изучение структуры кристаллов и белковых молекул, рентгеновская спектроскопия, рентгеновский микроскоп и др.

## Применение рентгеновского излучения

### Медицина и культура

- Диагностика болезней (переломы, опухоли и др.)
- Лечение болезней
- Определение дефектов картин
- Отделение поддельных бриллиантов от настоящих

### Наука и техника

- Рентгеновский микроскоп: изучение биологических объектов (клетки, их составляющие и др.)
- Рентгеноструктурный анализ: определение дефектов в кристаллах, изучение структуры вещества
- Рентгенодефектоскопия: определение трещин, раковин, толщины швов и др.
- Рентгеновская спектроскопия: изучение строения и свойств атомов
- Рентгеновская голография объектов
- Рентгеновский телескоп: изучение звёзд, определение их координат и др.

излучение? Почему трудно наблюдать дифракцию рентгеновских лучей? (Учитель подчёркивает аналогию при постановке опытов по дифракции электромагнитных волн.) Какие свойства рентгеновских лучей лежат в основе их широкого использования? Какие вещества слабо пропускают рентгеновские лучи?

**III. Домашнее задание:** § 68; фрагмент статьи В. Рентгена «О новом роде лучей» (Хрестоматия, с. 127).

**Вопросы** по статье: какие свойства изучения экспериментально фиксировал Рентген? Какие научные факты описаны в статье? Какие гипотезы формулирует в статье Рентген?

### Урок 4\*. Электродинамика как теория

**Задачи урока:** подвести итоги изучения нескольких разделов курса физики 10 и 11 классов, показать единую природу изученных явлений; систематизировать и обобщить основной материал; раскрыть общечеловеческую значимость открытий и исследований в области электродинамики, показать роль электродинамики в развитии техники и технологий.

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Введение. Постановка задач урока	3—5	Сообщение учителя. Беседа
<b>II.</b> Обобщение знаний электродинамики	30	Коллективная работа. Беседа. Записи на доске и в тетрадах. Работа с учебником
<b>III.</b> Общие выводы. Домашнее задание	5	Выделение главного с помощью вопросов

**I.** В 10 и 11 классах мы изучали довольно много тем, которые в науке входят в содержание электродинамики. Называют эти темы. В каждой теме обычно изучалось несколько физических явлений. Вспоминают наиболее существенные из них. (Электрическое и магнитное поля, действие полей на заряды, электрический ток, электромагнитная индукция, электромагнитные и световые волны, взаимодействие волн с веществом и др.) Каждое из этих явлений обладает своими особенностями, описывается вводимыми моделями, физическими величинами, законами. Природа всех указанных явлений одна — электромагнитное взаимодействие, которое имеет две стороны: а) заряды как объекты взаимодействия и одновременно источники поля; б) процесс взаимодействия — электромагнитное поле. При решении задач выделяют просто объект изучения — поле, действие поля на заряды (вещество), взаимодействие объектов (зарядов и токов) с помощью полей.

*Учебная проблема* урока — из всех изученных знаний выделить главные, фундаментальные знания электродинамики.

**II.** В физике электродинамика представляет собой систему знаний в форме физической теории, т. е. эти знания имеют определённую структуру. Ранее мы уже встречались со структурой теории: основание, ядро, следствия (выводы).

**1.** В простом варианте на качественном уровне систематизация знаний электродинамики как теории выполнена в таблице 34. Конечно, на самом деле фундаментальные законы электродинамики имеют строгую математическую форму: они представляют собой дифференциальные уравнения, получившие название уравнений Максвелла; но в школе их не изучают.

Следствия из законов электродинамики так обширны, что многие из них представляют собой целые разделы физики или техники. Например, ранее в таблице 29 были перечислены области использования света. Хотя мы редко задумываемся о том, что жизнь современного общества в прямом смысле без света невозможна. (Конкретизируем примерами пункты таблицы 29.)

**2.** Итак, основным объектом изучения электродинамики является электромагнитное поле. Это сложный объект. В разных

## Электродинамика как теория

### Основание

<b>Объекты изучения</b>	Электромагнитные поля. Электромагнитные волны. Электрические заряды
<b>Экспериментальные факты</b>	Взаимодействие электрических зарядов. Взаимодействие токов. Действие электрического тока на магнитную стрелку и др.
<b>Идеализированные объекты</b>	Точечный заряд. Свободные электроны. Электронный газ. Однородное электрическое поле. Монохроматическая электромагнитная волна (и ряд других)
<b>Фундаментальные понятия</b>	Электрический заряд. Электромагнитное поле. Электромагнитная волна
<b>Физические величины</b>	Напряжённость. Магнитная индукция. Сила тока. Напряжение. Сопротивление проводника. Энергия поля. Скорость, частота и длина волны

### Ядро теории

<b>Законы</b>	Сохранение энергии, импульса, заряда замкнутой системы
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Покоящиеся и движущиеся заряды образуют электрическое поле, силовые линии которого начинаются и заканчиваются на зарядах</li> <li>• Движущиеся электрические заряды порождают магнитное поле, силовые линии которого охватывают линии тока</li> <li>• В природе нет магнитных зарядов; магнитные силовые линии замкнуты</li> <li>• Переменное магнитное поле порождает переменное электрическое поле, силовые линии которого замкнуты и охватывают линии магнитной индукции</li> <li>• Переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле, силовые линии индукции которого замкнуты и охватывают линии напряжённости электрического поля</li> </ul>
<b>Фундаментальные постоянные</b>	Скорость электромагнитных волн. Заряд и масса электрона. Электрическая постоянная. Магнитная постоянная

### Выводы

<b>Теоретические следствия</b>	Расчёты излучения электромагнитных волн. Предсказание существования электромагнитных волн. Расчёты электрических цепей. Выяснение природы света (и многое другое)
<b>Технические применения</b>	Радиосвязь. Телевизионная связь. Получение, передача и потребление электроэнергии. Оптические приборы (и многое другое)

Таблица 35

Поле	Типичные физические явления
Электростатическое (электрическое)	Взаимодействие электрических зарядов. Электризация тел. Заземление
Магнитное (магнитостатическое)	Взаимодействие постоянных магнитов: отталкивание и притяжение. Взаимодействие токов. Действие поля на движущийся заряд
Стационарное электрическое	Постоянный электрический ток. Магнитное поле постоянного тока. Нагревание проводников
Переменное магнитное	Возникновение вихревого электрического поля. Переменный электрический ток в проводнике
Вихревое электрическое	Возникновение переменного магнитного поля. Переменный электрический ток в контуре
Переменное электрическое ( $\vec{E}$ изменяется по гармоническому закону)	Переменный электрический ток. Трансформация переменного электрического тока
Электромагнитное	Электромагнитные волны. Радиоволны. Световые волны

случаях оно проявляется по-разному, в виде разных полей: электростатического (электрического), магнитного, стационарного электрического, вихревого электрического, переменного электрического. В таблице 35 перечислены наиболее типичные



физические явления, существование (причина) которых связано с соответствующим полем. В таблице 36 свойства электромагнитного поля сравниваются со свойствами вещества.

При познании объектов и явлений учёные строят их модели. Принципиально важно, что один и тот же объект природы может в зависимости от задач познания моделироваться по-разному. *Вопрос:* какие модели электромагнитного поля мы изучали? (О т в е т. Однородное магнитное поле, однородное электрическое поле, силовые линии поля, статические поля, гармоническая волна, световой луч и др.) В моделях фиксируются знания об объекте, но при этом все модели имеют границы применимости.

По мере развития знаний одни модельные представления сменялись другими. Приводят примеры. (Модель, или механизм, взаимодействия «близкодействие» сменила модель «дальнодействие», корпускулярная модель света сменилась волновой и т. д.)

Таблица 36

## Свойства поля и вещества

Общие	Различные
Вид материи, реально существуют	Вещество локализовано в пространстве, поля нет
Обладают массой и энергией	Тела между собой взаимодействуют, поля нет
Присущи волновые и корпускулярные свойства	Несколько полей могут быть в одной области пространства, вещества нет
Общие законы — законы сохранения	Поля не могут служить телом отсчёта
Взаимосвязь поля и вещества: взаимодействие тел с помощью полей; источники поля — вещество; на микроуровне поле и вещество едины — микрочастицы	Скорость распространения электромагнитных волн постоянная и максимальная; тела могут иметь скорость в пределах $c > v \geq 0$

## Электромагнитные волны в жизни человека

### Быт

Радио- и телесвязь  
Оптические приборы: зеркало, очки и др.  
Лампочки  
Дистанционное управление  
Приборы ночного видения

### Физика человека

Зрение  
Тепловое излучение  
Биологическое действие излучений

### Медицина

Ультрафиолетовое облучение, загар  
Рентгенодиагностика  
Лазерное излучение: скальпель, облучение и др.

3. Научные знания используются: а) для объяснения мира, что, в частности, выражается в построении физической картины мира; б) для улучшения жизни людей. Электродинамика внесла огромный вклад в материальную и духовную культуру общества. Расшифруем его. (Используются ранее приведённые таблицы, дополнительно можно использовать таблицу 37.)

III. Общий итог подводится при обсуждении *вопросов*: какие основные физические объекты изучались в электродинамике? Какие типичные явления мы рассматривали? Какие характеристики электромагнитного поля вы запомнили? Какие законы поведения электромагнитного поля вам известны? Есть ли границы применимости законов электродинамики? Назовите их, например, для кулоновского взаимодействия зарядов.

*Домашнее задание*: подготовка к зачёту; основная часть заданий теста (на «удовлетворительно») может быть заранее вывешена в кабинете физики.

### Урок 5\*. Зачёт (контрольная работа)

Рекомендуем использовать тесты по материалам тем «Колебания и волны», «Оптика».

## Часть IV. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Мировоззренческую роль изучения квантовой физики трудно переоценить. Значимость познания микромира для людей, явно выраженная модельность знания об изучаемых объектах, разнообразие и преемственность знаний, важность знания о границах применимости наших представлений — вот далеко не полный перечень вопросов методологии познания, которые надо ставить и решать на уроках.

Их обсуждение необходимо для развития познавательных потребностей школьников вне зависимости от их будущей профессии. Поэтому при планировании уроков вопросам методологии познания нужно уделять особое внимание.

### Глава XI. СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

На материале данной темы учитель вводит школьников в мир особенных закономерностей микромира — дискретных и квантовых изменений энергии при взаимодействии объектов, волнового характера движения микрочастиц. Ниже дан наиболее последовательный вариант построения учебного процесса при изучении темы. При необходимости изучение фотоэлементов происходит на одном уроке и, как минимум, на один урок сокращается решение задач, а материал обобщения распределяется по другим урокам. Словом, возможности для манёвра при объяснении материала данной темы у учителя есть.

#### Урок 1. Возникновение квантовой физики. Фотоэлектрический эффект и его законы

**Задачи урока:** сформировать представления о фотоэффекте; изучить его законы; ознакомить школьников с научной деятельностью А. Г. Столетова; развить познавательную активность школьников с помощью проблемных вопросов и исторического материала.

##### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение	5	Рассказ учителя
II. Изучение нового материала: явление фотоэффекта, законы фотоэффекта, опыты Столетова	20—25	Демонстрация опыта. Беседа с учащимися. Работа с учебником. Рассказ учителя
III. Решение задач	10	Записи в тетрадях, беседа
IV. Краткое обобщение. Домашнее задание	2—3	Подведение итогов урока учителем, пояснение домашнего задания

I. Урок можно начать с характеристики исторической обстановки в физике в революционный период её развития.

Во второй половине XIX — начале XX в. учёными были открыты атомы, ядра атомов, электроны и некоторые другие микрочастицы. Эти физические объекты имеют размеры  $10^{-10}$ — $10^{-15}$  м и меньше. Мир малых частиц называют **микромиром**. Проникнув в микромир, люди узнали много нового. Известные тогда законы механики и электродинамики не объясняли некоторые открытые явления микромира. Так, опираясь на эти законы, нельзя объяснить, почему атом, состоящий из ядра и электронов, устойчив, почему атомы излучают свет определённых частот. Накопился ряд опытных фактов, которые не смогла объяснить физическая теория того времени.

II. Как объяснить новые экспериментальные факты? Каким новым законам подчинено движение микрочастицы? В спорах учёных и борьбе научных мнений возникли и получили развитие новые физические идеи: о дискретных уровнях энергии атомов, о волновом характере движения микрочастиц, о квантовой природе света. Они легли в основу новой области физики — квантовой. **Квантовая физика** — это раздел современной физики, в котором изучаются свойства, строение атомов и молекул, движение и взаимодействие микрочастиц.

В возникновении квантовой физики важнейшую роль сыграло изучение взаимодействия электромагнитных волн с веществом. В 1886 г. немецкий физик Г. Герц открыл явление электризации металлических поверхностей при их освещении. Позднее учёные выяснили, что под действием света часть электронов, входящих в состав тела, покидает его.

Явление выхода (вырывания) электронов из вещества под действием света получило название **фотоэлектрического эффекта** (или просто **фотоэффекта**).

Далее учитель переходит к выполнению *опыта* (ДЭ-2, с. 234). Демонстрация фотоэффекта (внешнего) проводится на цинковой пластинке, соединённой с электрометром. Пластинка

размером  $10 \times 10$  см зачищается мелкозернистой шкуркой. Схема опыта показана на рисунке 113. При постановке опытов удобно использовать комплект по фотоэффекту КПФ-1, в котором в качестве излучателя можно применить косметический прибор «Фотон». Главная задача опыта — выделить и изучить явление фотоэффекта. С учащимися ведётся беседа по вопросам, с помощью которых выясняется физическая сущность — микромеханизм — нового явления. Важными являются и модельные рисунки.

*Вопросы для организации беседы:* когда начинает разряжаться электрометр? Что

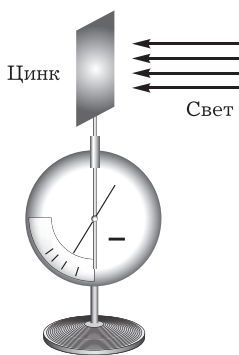


Рис. 113

является причиной разрядки электрометра? Почему можно сделать вывод о вылете электронов с цинковой пластинки? Будет ли наблюдаться разрядка электрометра (явление фотоэффекта), если электрометр зарядить положительно? Изменится ли время разрядки электрометра, если пластинку расположить под углом к потоку света? если увеличить расстояние между электрометром и источником света? (Последний вопрос подводит учащихся к формулировке первого закона фотоэффекта.)

Школьники узнают, что фотоэффект наблюдается лишь при облучении пластинки светом определённых длин волн. Для этого учитель или ученик проводит на той же установке *второй опыт*, используя другой источник света — мощную электрическую лампу накаливания.

*Вопросы* для организации беседы по опыту: будет ли энергия, сообщаемая светом электронам в пластинке, зависеть от освещённости согласно волновой теории? (О т в е т. Будет, так как чем больше освещённость, тем большая энергия передаётся светом пластинке, а значит, и большая энергия должна приходиться на отдельный электрон. Согласно волновой теории поток энергии непрерывен.)

Проводят *опыт* с лампой накаливания: фотоэффект не наблюдается. Проверяют: может быть, в опыте со специальным источником освещённость была больше, а в опыте с лампой накаливания она недостаточна? При повторении демонстрации приближают лампу вплотную к пластинке — фотоэффекта нет.

Почему же в этом случае нет фотоэффекта? Проводят следующий *опыт*: на пути потока света от специального источника ставят стекло. Разрядка электрометра прекращается. В беседе выясняется, что стекло поглощает световые волны больших частот. Школьников подводят к **выводу** о зависимости явления фотоэффекта от частоты электромагнитных волн. (В данном случае фотоэффект вызван ультрафиолетовым излучением, с которым учащиеся знакомы.) Общий **вывод** состоит в том, что волновая теория света неспособна объяснить, почему фотоэффект вызывается одними и не вызывается другими световыми волнами.

После такого заключения переходят к более подробному изучению законов фотоэффекта. Для этого можно организовать работу с учебником, сообщить план изучения текста, сделать записи в тетрадях, в беседе обсудить работу установки, описанной в учебнике (рис. 10.2), и объяснить приведённые там графики.

*План работы на этой части урока:*

1. Сообщение об А. Г. Столетове.
2. Изучение устройства и работы установки Столетова.
3. Формулировка первого закона фотоэффекта.
4. Анализ графиков, приведённых на рисунках 114 и 115, и формулировка второго закона фотоэффекта.

5. Анализ графика (рис. 116), понятие о красной границе фотоэффекта. Анализ графика (рис. 117) и вывод о невозможности объяснения второго закона фотоэффекта на основе волновой теории.

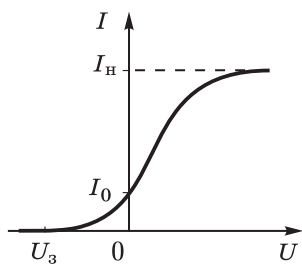


Рис. 114

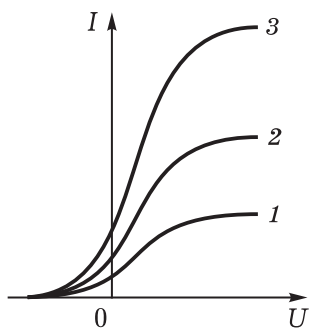


Рис. 115

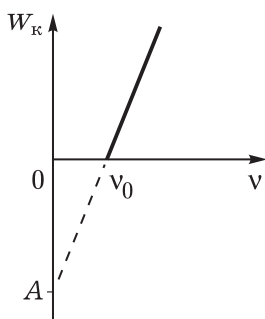


Рис. 116

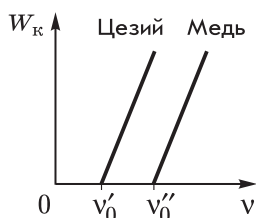


Рис. 117

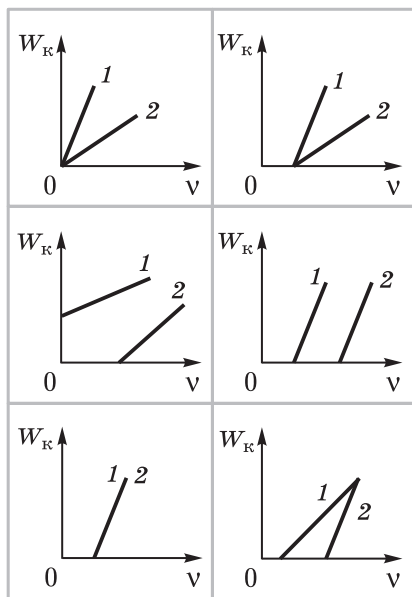


Рис. 118

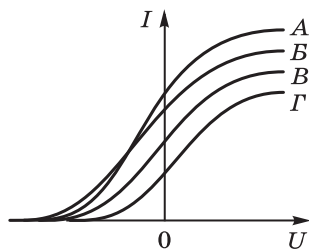


Рис. 119

**III. Закрепление и углубление изученного на уроке материала** осуществляется как в процессе беседы с учащимися, так и при выполнении заданий после работы с учебником. Можно предложить задания по графикам, повторить ключевые понятия урока.

1. Для одного вещества или для разных веществ приведены графики на рисунке (см. рис. 115)?
2. Дополните график (см. рис. 115) для случаев: а) свет большей частоты, но освещённость та же; б) свет большей частоты и освещённость больше.
3. Чем больше освещённость, тем большая энергия передаётся электронам вещества. Чем больше энергии передано электронам, тем больше должна быть их кинетическая энергия. Какое из этих утверждений противоречит законам фотоэффекта?
4. На рисунке 118 приведены графики зависимости энергии вышедших электронов от частоты падающего света. Какой из графиков соответствует опыту с разными освещённостями пластинки?
5. Какой из световых потоков обладает большей частотой (рис. 119)?

**IV. Домашнее задание:** § 69 (часть); Хрестоматия (с. 167—170).

## Урок 2. Световые кванты. Уравнение фотоэффекта

**Задачи урока:** сформировать понятие кванта энергии; расширить представления учащихся об области применения закона сохранения энергии.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I. Введение</b>	1	Сообщение учителем плана урока
<b>II. Проверка домашнего задания</b>	10	Фронтальный опрос по хрестоматийному материалу. Ответы на вопросы
<b>III. Изучение нового материала</b>	10—15	Рассказ учителя. Записи учащихся в тетрадях
<b>IV. Отработка знаний</b>	12—17	Решение задач. Беседа с учащимися
<b>V. Подведение итогов. Домашнее задание</b>	2—5	Сообщение учителя. Запись на доске

**I. Объявляется план работы на уроке.**

**II. Повторение изученного материала** желательно сочетать с его углублением. В частности, один из школьников может выступить с кратким дополнением рассказа о Столетове. Предлагают *вопросы* по хрестоматийному материалу:

1. Как Столетов определил явление фотоэффекта?

2. На основе какого результата опыта можно сделать вывод о том, что количество фотоэлектронов прямо пропорционально интенсивности световой волны (освещённости пластинки)?

3. Как Столетов определил, что фотоэффект вызывается светом не любой длины волны?

4. Какое значение для понимания явления фотоэффекта имеет следующий результат: «Разряжающее действие лучей обнаруживается даже при весьма кратковременном освещении, причём между моментом освещения и моментом соответственного разряда не протекает заметного времени»?

III. На этом этапе урока учитель кратко излагает новый материал. Приводим его содержание.

Для объяснения фотоэффекта нужны были новые физические идеи. Первый шаг в квантовой теории сделал в 1900 г. немецкий физик Макс Планк (1858—1947). Он высказал *гипотезу*: тела испускают энергию света порциями — **квантами**. Энергия каждой порции света строго определена и вычисляется по формуле

$$\varepsilon = h\nu,$$

где  $h$  — постоянная величина, получившая название **постоянной Планка**. Её числовое значение мало:

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$$

поэтому даже для электромагнитных волн большой частоты энергия кванта очень мала. Например, для волн видимого света эта энергия порядка  $10^{-20}$  Дж.

Заканчивая разговор о Планке, уместно показать его портрет, привести оценку его работы А. Эйнштейном: «...он убедительно показал, что, кроме атомистической структуры материи, существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной  $h$ , введённой Планком. Это открытие стало основой всех исследований в физике XX в. и с тех пор почти полностью обусловило её развитие... Оно разрушило остов классической механики и электродинамики и поставило перед наукой задачу: найти новую познавательную основу для всей физики» [21, с. 95].

Гипотезу Планка о квантовом характере излучения развил в 1905 г. великий физик XX в. Альберт Эйнштейн. Он понял, что свет не только излучается и поглощается квантами, но и существует в виде отдельных квантов.

Идея о квантовой природе света позволила объяснить законы фотоэффекта. Отдельный квант взаимодействует с одним электроном. Энергия кванта света идёт на совершение работы по удалению электрона из металла и на сообщение ему кинетической энергии. По закону сохранения энергии получим уравнение

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Его называют **уравнением Эйнштейна**. (Уравнение описывает взаимодействие одного кванта света с одним электроном.)



Далее с помощью уравнения Эйнштейна поясняют экспериментальные законы фотоэффекта.

Итак, экспериментальные законы фотоэффекта объясняются с помощью гипотезы о квантах света. Гипотеза Планка—Эйнштейна стала в дальнейшем ведущим теоретическим положением квантовой физики. Из квантов состоит не только видимый свет, но и другие электромагнитные волны — как короткие, так и длинные. Световые кванты называют **фотонами**. (Фотонами можно называть и кванты любых электромагнитных волн.)

**IV.** В качестве закрепления изученного материала решают типичные задачи: П., № 801, 802, 803.

**V. Домашнее задание:** § 69; П., № 804; можно порекомендовать статью Эйнштейна «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света» (Хрестоматия, с. 170—174). Для активизации работы со статьёй уместно задать *вопросы*, на которые учащиеся ищут в ней ответы: отказывается ли Эйнштейн от волновой теории света, выдвигая гипотезу о квантах света? Говорится ли в данной части статьи о том, что свет не только испускается и поглощается, но и распространяется в пространстве квантами? Совпадает ли формула, приводимая в статье, с формулой для фотоэффекта в учебнике? Не противоречит ли высказывание статьи: «Однако нельзя исключить и того, что электроны воспринимают энергию световых квантов лишь частично...» — утверждению учебника о неделимости кванта света? Объясняются ли в статье законы Столетова? Можно ли из статьи сделать вывод, что гипотеза Эйнштейна о квантах света была выдвинута на основе опытных фактов?

(Подобные задания для работы с хрестоматией могут быть предложены на следующих уроках для письменного ответа.)

При подведении итогов урока можно привести высказывание Планка по оценке собственной гипотезы о квантовом характере излучения света. Он писал: «Крушение всех попыток перевернуть мост через возникшую пропасть (рассмотренное учащимися ранее противоречие. — *Прим. авт.*) вскоре уничтожило все сомнения: или квант действия был фиктивной величиной — тогда весь вывод закона излучения был принципиально иллюзорным и представляет просто лишённую содержания игру в формулы, или при выводе этого закона в основу была положена правильная мысль — тогда квант действия должен играть в физике фундаментальную роль, тогда появление его возмещало нечто до того неслыханное, что, казалось, требовало преобразования самих основ нашего физического мышления, покоившегося со времени обоснования бесконечно малых Ньютоном и Лейбницем на предположении о непрерывности всех причинных связей» [20, с. 216—217].

Обращают внимание школьников на то, что дискретное изменение энергии является принципиально новым положением по сравнению с непрерывным изменением величин в классической физике.

## Урок 3\*. Решение задач

**Задачи урока:** сформировать умение решать задачи с использованием уравнения Эйнштейна и представлений о квантах света.

### Ход урока

I. С целью повторения можно разобрать следующие *вопросы*: раскрыть содержание уравнения Эйнштейна, сформулировать первый и второй законы фотоэффекта, предложить метод экспериментального определения постоянной Планка, используя явление фотоэффекта.

II. Углубление знаний школьников продолжается во фронтальном *опросе*: почему опыты Столетова называются фундаментальными? Ученик, объясняя уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, сказал: «Энергия падающего света равна работе выхода электронов и кинетической энергии их движения». В чём неточность ответа? (О т в е т. Надо было сказать «энергия фотона», а не «света», и дальше говорить об одном электроне.) При каких условиях фотоэффект не будет наблюдаться, если даже освещённость будет большой?

Для активизации познавательной деятельности учащихся на уроке решают э к с п е р и м е н т а л ь н у ю   з а д а ч у.

Изменится ли быстрота разрядки электрометра, если цинковую пластинку заменить медной? После проведения опыта результат обоснуйте теоретически.

Работа выхода для цинка  $5,6 \cdot 10^{-19}$  Дж, а для меди  $8,3 \cdot 10^{-19}$  Дж. При одном и том же потоке излучения могут быть следующие результаты: а) электрометр не будет разряжаться, так как энергия фотонов может быть меньше работы выхода; б) фотоэффект происходит, но уже меньшее число фотонов из потока света различной частоты может выбивать электроны из меди.

III. При коллективном решении задач повторяют сведения о фотоэффекте: определение фотоэффекта, уравнение фотоэффекта, различие работы выхода у разных металлов.

Первую расчётную задачу целесообразно решить самому учителю с привлечением класса (она играет роль ориентировочной основы действия при решении аналогичных задач). Рассмотрим типичную з а д а ч у.

Определите длину волны света, которым освещается поверхность металла, если фотоэлектроны имеют кинетическую энергию  $4,5 \cdot 10^{-20}$  Дж. Работа выхода электронов из металла равна  $7,6 \cdot 10^{-19}$  Дж.

Р е ш е н и е. В задаче описан фотоэффект. Как об этом можно догадаться? По объектам, поведение которых и определяет явление. Это фотоны, металл, фотоэлектроны. После определения явления план решения задачи очевиден — описание фотоэффекта уравнением Эйнштейна. В качестве дополнительного соотношения используется уравнение связи частоты и длины волны:

$$\begin{cases} h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \\ \nu = \frac{c}{\lambda}, \end{cases}$$

$$h \frac{c}{\lambda} = A + W_k, \quad \lambda = \frac{hc}{A + W_k}, \quad \lambda = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

При анализе решения задачи обсуждают *вопросы*: какие физические величины, характеризующие фотоэффект, можно определить из уравнения Эйнштейна? Можно ли решить задачу, если вместо кинетической энергии известна лишь скорость фотоэлектронов? Какому излучению соответствует вычисленная длина волны?

**IV.** Самостоятельное решение задач с учётом индивидуальной подготовки школьников учитель организует по учебнику, задачку или дидактическим материалам (см., например: Мартынов И. М., Хозяинова Э. Н., Буров В. А. Дидактический материал по физике. 10 кл. / под ред. В. А. Букова. — М.: Просвещение, 1980).

**V.** Домашнее задание: § 73\* (1, 2); П., № 806, 807.

## Урок 4. Фотоны. Гипотеза де Бройля

**Задачи урока:** продолжить формирование понятия фотона; познакомить с идеей де Бройля; продолжить развитие умений использовать математические средства для описания физических явлений.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
<b>I.</b> Введение учащихся в проблему урока	7	Работа учащихся у доски. Сообщение учителя
<b>II.</b> Изучение и отработка нового материала: свойства фотона, гипотеза де Бройля	30—35	Рассказ учителя. Работа с таблицами. Записи в тетрадях. Беседа
<b>III.</b> Выводы. Домашнее задание	3—5	Устное обобщение материала учителем. Запись на доске

**I.** На уроке продолжается формирование понятия фотона. Сначала один ученик решает задачу на уравнение Эйнштейна у доски, двое отвечают письменно по карточкам. При обсуждении решения задачи у доски осуществляется актуализация знаний о кванте света.

Какую энергию получают электроны пластинки из калия при облучении светом длиной волны  $4,6 \cdot 10^{-7}$  м? Работа выхода электрона считается известной.

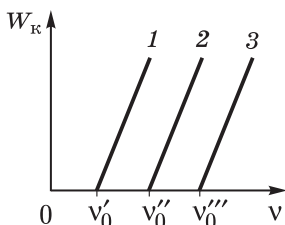


Рис. 120

З а д а н и я для письменного опроса:

1. Что называют красной границей фотоэффекта?
2. Максимальная кинетическая энергия электронов, выбитых квантами света с энергией 5 эВ, равна 1,5 эВ. Минимальная энергия фотонов, при которой возможен фотоэффект, равна: а) 1,5 эВ; б) 2,5 эВ; в) 3,5 эВ; г) 4,5 эВ; д) 5,5 эВ; е) 6,5 эВ. Выберите и обоснуйте верный ответ.
3. Что называют фотоэффектом?

4. На рисунке 120 изображены графики зависимости кинетической энергии выбитых электронов от частоты света. Для какого металла работа выхода больше? Ответ обоснуйте.

## II. Рассказ учителя при изучении нового материала.

1. Для объяснения фотоэффекта была введена гипотеза о квантах, или элементарных частицах электромагнитного поля — фотонах. Энергия фотона  $\varepsilon$  определяется по формуле Планка  $\varepsilon = h\nu$ , где  $\nu$  — частота электромагнитной волны.

Далее по учебнику рассматривают характеристики (скорость, импульс, энергия) фотона. Изучение свойств фотона можно попытаться с помощью таблиц 38 и 39. При этом в беседе с учениками нужно обсудить, какие характеристики имеет фотон и как соответствующие величины можно измерить или рассчитать.

2. Важным для квантовой физики является согласование волновых и квантовых представлений. На данном уроке школьники кратко знакомятся с идеями корпускулярно-волнового дуализма и гипотезой де Бройля, а также с принципом Гейзенберга.

При кратком изложении данного материала лучше не выходить за рамки учебника, но следует вернуться к этим принципиальным вопросам на последнем уроке и в следующей теме (см. подробнее [18]).

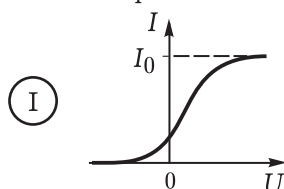
Таблица 38

Частицы вещества	Частицы электромагнитного поля (фотоны)
$m_0 \neq 0$ $v < c$ Могут при взаимодействии изменять скорость, двигаться с ускорением Обладают энергией $E = mc^2$ Могут иметь нулевой и ненулевой импульсы Имеют электрический заряд или не имеют заряда Выполняются законы сохранения импульса, энергии	$m = 0$ $v = c$ При взаимодействии с веществом поглощаются или излучаются Обладают энергией $\varepsilon = pc$ Не имеют нулевого импульса: $p \neq 0$ Не имеют электрического заряда Выполняются законы сохранения импульса, энергии

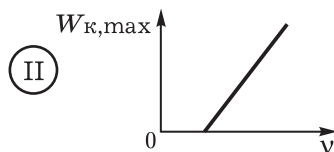
# Теория явления фотоэффекта

## Факты

- Эмпирическое определение явления: вырывание электронов из вещества под действием света
- Экспериментальные законы:



$I_0 \sim W$  (световая энергия)



Ⓜ Для каждого вещества имеется красная граница фотоэффекта

## Модель

- Фотон  $h\nu$  — гениальная идея (гипотеза)
- Закон сохранения энергии в акте взаимодействия

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

## Следствия

- Объяснение законов Столетова
- Объяснение давления света, опытов Лебедева:  
 $P = nr$  — давление при поглощении света;  
 $P = n2r$  — давление света при отражении,  
 где  $r$  — импульс отдельного фотона;  
 $n$  — число фотонов, падающих за секунду на единичную поверхность
- Объяснение принципа действия фотоэлементов

**III. Домашнее задание:** § 71; упр. на с. 271 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 812, 822. Кроме этого, может быть предложена **задача**.

При облучении вещества светом (длина волны  $5 \cdot 10^{-8}$  м) рассеяние фотонов происходит под углом  $30^\circ$ . Какой импульс получает электрон при рассеянии?

Хорошо подготовленным учащимся можно дать дополнительное **задание**.

Доказать, что свободный электрон не может поглотить фотон. Для этого использовать законы сохранения импульса и энергии (см. § 73\*, задача 4).

Для усиления мировоззренческих выводов урока целесообразно обратиться к хрестоматийному материалу. В 1900 г. выдающийся французский физик и математик А. Пуанкаре писал: «Наука состоит из фактов, как дом из кирпичей; но простое собрание фактов столь же мало является наукой, как куча кирпичей — домом... Всякое обобщение есть гипотеза. Поэтому гипотезе принадлежит необходимая, никем никогда не оспаривавшаяся роль. Она должна лишь как можно скорее подвергнуться и как можно чаще подвергаться проверке» [16, с. 91, 97]. Может ли в настоящее время на основе новых экспериментальных фактов быть отвергнута гипотеза о квантах света? Может ли знание быть абсолютно верным на все времена?

## Урок 5\*. Решение задач

### Ход урока

**I.** В начале урока повторяют основные понятия и законы, формулы выписывают на доске. Проверяют домашнее задание: свойства фотона повторяют в беседе, на доске выполняют решение задачи.

**II.** Далее учитель организует работу по решению задач. Рассматривают решение **задачи** на определение постоянной Планка.

В таблице 40 даны экспериментальные значения «тормозящих» потенциалов для электронов, испускаемых под действием фотонов с разной длиной волны. На основании данных постройте график зависимости энергии электронов от частоты фотонов, определите значение постоянной Планка и работу выхода для данного металла.

Таблица 40

Длина волны, $10^{-10}$ м	5460	4920	4360	4050	3690	3130
Потенциал, В	0,40	0,60	0,90	1,20	1,50	2,10

**Пояснение к решению.** В задаче сказано, что на вылетающие под действием света электроны действует электрическое поле,

которое тормозит их движение. Поэтому если конечная скорость электронов нулевая, то их кинетическая энергия равна работе электрического поля. Формула Эйнштейна приобретает вид

$$\frac{hc}{\lambda} = A + eU.$$

Для нахождения двух неизвестных (постоянной Планка и работы выхода) это уравнение необходимо записать для двух различных значений потенциала и соответствующей длины волны.

### III. Примерные задачи для решения на уроке.

1. Оцените число фотонов видимого света, испускаемых за секунду 100-ваттной лампочкой, излучающей в видимой части спектра 1% своей электрической мощности. Считайте, что излучение происходит на длине волны  $\lambda = 5,6 \cdot 10^{-7}$  м.

*Пояснение к решению.* Сначала нужно определить излучаемую энергию, затем энергию фотона (для длины волны  $5,6 \cdot 10^{-7}$  м), а по ней — число фотонов. Используют Справочник (с. 138).

2. Определите энергию фотона, длина волны которого соответствует:  
а) видимой части спектра (0,6 мкм); б) инфракрасному излучению (1,0 мкм); в) ультрафиолетовому излучению (0,3 мкм).
3. Определите частоту и импульс фотона энергией 1 эВ.
4. При взаимодействии фотона со слабо связанным электроном последнему может передаваться не вся энергия фотона, а только её часть. Значит ли это, что фотон поглощается частично?
5. Определите импульс фотона, длина волны которого 450 нм. Сравните его с импульсом молекулы водорода при комнатной температуре. Массу молекулы примите равной  $2,4 \cdot 10^{-27}$  кг.

IV. При подведении итогов урока учитель подчёркивает фундаментальное значение постоянной Планка в физике, говорит о том, что корпускулярные свойства света проявляются тогда, когда постоянную Планка нельзя принять равной нулю по сравнению с числовыми значениями энергий и импульсов, рассматриваемых в задаче.

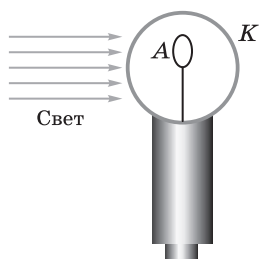
*Домашнее задание:* § 73\* (3); П., № 808.

## Урок 6\*. Вакуумный фотоэлемент. Применение фотоэлементов в технике

**Задачи урока:** раскрыть значение теоретических знаний для техники и производства; описать области применения фотоэлементов в технике.

### Ход урока

I. Начиная рассмотрение нового материала (около 25 мин), учитель сообщает, что изученное ранее явление фотоэффекта лежит в основе работы фотоэлементов — устройств, в которых световые сигналы преобразуются в электрические. Далее кратко



Устройство фотоэлемента

Рис. 121

Схема включения фотоэлемента в цепь

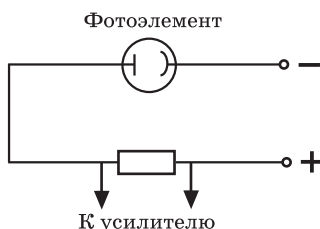


Рис. 122

Блок-схема фотореле

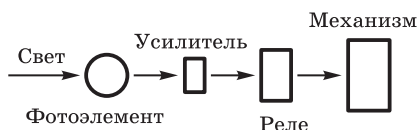


Рис. 123

рассказывает об устройстве и принципе работы фотоэлемента (рис. 121), использует схемы (рис. 122, 123), раздаёт учащимся для ознакомления фотоэлементы. (Можно упомянуть о фотоумножителях и показать фотоумножитель.)

Примерный план рассказа учителя: устройство фотоэлемента — действие фотоэлемента — усиление электрических сигналов, выработанных фотоэлементом, — соединение фотоэлемента с электромагнитным реле — принципы применения фотореле в технике — демонстрация работы фотореле.

Рассказывая о применении фотоэффекта, учитель демонстрирует действие фотореле (ДЭ-2, с. 243—244). Уместно краткое выступление школьника с самодельным фотореле.

По использованию фотоэлементов для воспроизведения звука в кино можно запланировать доклад ученика. Во время доклада рассматривают соответствующую таблицу, рисунки, другие иллюстрации.

II. При закреплении материала (около 10 мин) проводится беседа по вопросам: что такое фотоэлемент? Как устроен вакуумный фотоэлемент? Как происходит превращение светового сигнала в фотоэлементе в электрический? Зачем соединяют фотоэлемент с электромагнитным реле? Приведите примеры фотоэлементов в технике.

III. Домашнее задание: § 70\*; П., № 809.

## Урок 7\*. Полупроводниковые фотоэлементы. Применение фотоэлементов в технике

На урок планируют доклады школьников, постановку и обсуждение опытов.

I. В начале урока повторяют устройство и принцип действия вакуумного фотоэлемента. Один из школьников показывает опыт



с фотоэлементом. Устно обсуждают *вопросы*: какие физические явления происходят при работе фотоэлемента? Зависит ли работа фотоэлемента от частоты падающего света? от его интенсивности?

Для письменных ответов можно предложить задания.

1. Красная граница фотоэффекта для вольфрама  $2,72 \cdot 10^{-7}$  м. Определите работу выхода электронов из металла.
2. Нарисуйте график зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света. Как с помощью графика определить постоянную Планка?
3. Определите энергию кванта света, если ему соответствует длина волны  $4 \cdot 10^{-10}$  м.

II. При изучении нового материала учитель обращает внимание на следующие важные моменты:

1. Явление фотоэффекта, происходящее в полупроводнике, существенно отличается от внешнего фотоэффекта. Внутренний фотоэффект не приводит к вылету электронов из тела, а заклю-

Таблица 41

## Фотоэлементы

### Вакуумные

Фотореле  
Звуковое кино

### Газонаполненные

Различные счётчики

### ФЭУ

Фототелеграф

### Приёмники изображения: икonosкоп, ортискон, видискон, ЭОП и др.

Телевидение  
Приборы ночного видения

### Полупроводниковые

фотодиод

Солнечные батареи. Фотоэкспонометр

фоторезистор

Измерение температуры  
Теплофотография со спутников  
Сортировка продукции на конвейере  
Охрана помещений  
Самонаведение ракет и др.

чается в увеличении числа свободных электронов и дырок в полупроводнике.

2. Выделяют два вида полупроводниковых фотоэлементов — фотосопротивления и фотодиоды. В первых под действием света меняется сопротивление, во вторых на электродах в приборе возникает напряжение (ЭДС).

3. Применение фотоэлементов в технике рассматривают с помощью *опытов* № 157—159 (ДЭ-1). В качестве раздаточного материала можно использовать различные фоторезисторы и фотодиоды. С ними учащиеся могут поставить простые эксперименты: измерение ЭДС при освещении фотодиода, изменение ЭДС при изменении освещённости и т. д.

4. Обобщение и закрепление изученного материала осуществляется в беседе. При этом используется таблица 41.

III. *Вопросы для подведения итогов:* каков принцип действия фотоэлемента с внешним (внутренним) фотоэффектом? Почему катоды фотоэлементов изготавливают из щелочных металлов? Почему фотоэлементы так широко применяются?

IV. *Домашнее задание:* § 70\*; П., № 811.

## Урок 8\*. Решение задач

### Ход урока

I. Для повторения материала двух последних уроков целесообразно проведение кратковременной *письменной работы*. Школьников заранее предупреждают о работе и её примерном содержании.

#### Вариант I

1. Принцип работы и использование вакуумного фотоэлемента.
2. Примеры применения полупроводниковых фотоэлементов.

#### Вариант II

1. Принцип работы и использование полупроводниковых фотоэлементов.
2. Примеры применения вакуумных фотоэлементов.

Письменную работу можно провести и по материалу учебника, используя для заданий его текст, рисунки и схемы.

II. Коллективно в процессе обсуждения решают задачи.

1. Человек обладает порогом зрительного ощущения, с физической точки зрения определяемым минимальной энергией света, вызывающей ощущение. Для света длиной волны  $5,25 \cdot 10^{-7}$  м порог у разных людей колеблется от 200 до 400 фотонов в секунду. Это значит, что в темноте человек в состоянии зафиксировать такой минимальный световой поток. Опыты по наблюдению потоков очень малой интенсивности были проведены известным физиком С. И. Вавиловым. Экспериментатор наблюдал беспорядочные вспышки света от источника, интенсивность которого приближалась к порогу его зрительного ощущения. Объясните, какие выводы о свойствах света можно сделать из такого эксперимента.

О т в е т. Наблюдатель то видел вспышку света, то не видел. Для определённости примем, что порог его зрительного ощущения 400 фотонов в секунду. Если до наблюдателя доходило 400 фотонов в секунду и более, то он видел источник света, а если меньше — не видел. Значит, раз вспышки источника беспорядочны, то слабый источник света излучает не строго определённое количество фотонов и число их случайным образом колеблется. Наличие вспышек говорит и о том, что источник испускает свет не непрерывным потоком.

Таким образом, опыты Вавилова подтверждают квантовые свойства света. (При решении задачи желательно зачитать фрагменты из статьи «Микроструктура света» по Хрестоматии для учащихся.)

Формирование представлений о проявлении квантовых свойств света в окружающей нас жизни продолжается при решении з а д а ч и.

2. Радиовещательная станция работает на волне 10 м (длина волны 10 м). Вычислите энергию одного кванта этого излучения. Определите число фотонов, излучаемых в секунду, при мощности станции 5 кВт. Заметны ли квантовые свойства такого излучения?

После решения задачи обсуждается *вопрос*: можно ли обнаружить при приёме квантовый характер излучения, если приёмник имеет нижний предел чувствительности порядка  $10^{10}$  квантов в секунду при частоте 1 МГц? (О т в е т. Нельзя, так как при таком большом числе квантов отдельный квант незаметен.)

III. Для самостоятельного решения предлагаем следующие з а д а ч и:

1. Определите импульс фотонов, излучаемых источником рентгеновских лучей с частотой  $3 \cdot 10^{12}$  МГц.
2. Чему равна наименьшая частота света, при которой ещё наблюдается фотоэффект, если работа выхода электрона из металла  $3,3 \cdot 10^{-19}$  Дж?
3. Два излучателя мощностью по 100 Вт испускают излучение: один — в видимом диапазоне с частотой  $4 \cdot 10^{14}$  Гц, другой — рентгеновские лучи с частотой  $2 \cdot 10^{17}$  Гц. Определите: а) энергию и импульс фотонов; б) число фотонов, проходящих через площадку  $1 \text{ м}^2$ , расположенную перпендикулярно потоку на расстоянии 5 км от излучателей. В каком случае легче обнаружить корпускулярные свойства излучения?
4. Опишите и схематически изобразите процессы, соответствующие факту существования красной границы фотоэффекта.

IV. Домашнее задание: упр. на с. 277 (3, 4); индивидуально можно предложить решить з а д а ч у.

Тренированный глаз, длительно находящийся в темноте, воспринимает свет с длиной волны 0,5 мкм при мощности, равной  $2,1 \cdot 10^{-17}$  Вт. Сколько фотонов примерно попадает в этом случае на сетчатку за 1 с?

## Урок 9. Давление света. Опыты Лебедева

**Задачи урока:** сформировать понятие о давлении света; объяснить давление света с точки зрения волновых и квантовых представлений; познакомить с историческими опытами Лебедева и раскрыть их значение для науки; организовать самостоятельную работу на уроке.

### Ход урока

I. В начале урока двум-трём школьникам предлагают письменную работу — решение задачи. У доски самостоятельно решает задачу вызванный ученик.

Оцените, какое число фотонов падает за секунду на  $1 \text{ см}^2$  поверхности Земли, перпендикулярной солнечным лучам. Солнечная постоянная  $1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ , средняя длина волны солнечного света  $5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ .

II. Примерное содержание краткого рассказа учителя.

1. Гипотеза о существовании **светового давления** высказывалась учёными неоднократно. Впервые же существование светового давления теоретически обосновал в 1873 г. Дж. Максвелл на основе электромагнитной теории света и рассчитал это давление для солнечного света на Земле. Оно оказалось очень малым — приблизительно равным  $4 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$ . Как же объясняется существование светового давления с точки зрения волновой теории света? (О т в е т — по учебнику.)

2. Квантовая физика также предсказывает и позволяет рассчитать световое давление. При этом расчёт прост и нагляден. Световой поток представляет собой поток фотонов. При падении света на вещество фотоны поглощаются, передавая свою энергию и импульс веществу. Энергия фотонов идёт на увеличение энергии хаотичного движения атомов или молекул вещества, и вещество нагревается. Передача же фотонами импульса  $\Delta \vec{p}$  телу за время  $\Delta t$  соответствует, согласно второму закону Ньютона, силе  $\vec{F}$ , действующей на тело. Так как

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F},$$

а давление равно силе, действующей на единицу поверхности тела:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p}{S \Delta t},$$

то световое давление равно импульсу, приносимому фотонами на единицу поверхности тела в единицу времени.

3. Полученные формулы для светового давления важно проверить на опыте: совпадение теоретических и экспериментальных результатов докажет верность волновых и квантовых идей о природе света. Впервые измерение давления света осуществил

в 1900 г. знаменитый русский физик П. Н. Лебедев (1866—1912).

Световое давление для обычных источников света на Земле, даже самых ярких (кроме лазеров), очень мало, поэтому обнаружить его очень трудно. Опыты Лебедева были большим достижением для своего времени. Известный английский физик Дж. Дж. Томсон так оценил эти эксперименты: «Вы, может быть, знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления, и вот ваш Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами» [20, с. 116].

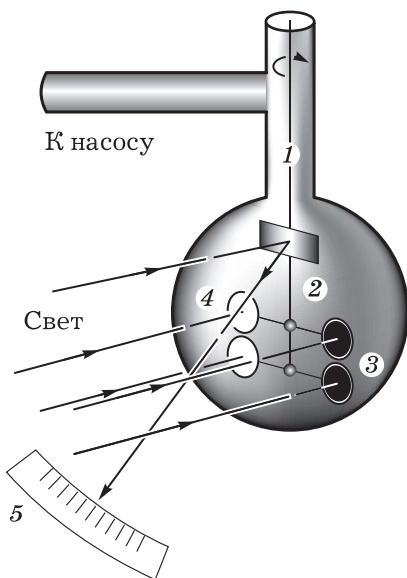
4. Идея опыта проста. Свет дуговой лампы, проходя через систему линз и воду (поглощение инфракрасной части излучения), фокусировался на крыльчатке (рис. 124). Поворот крыльчатки под действием света (с учётом исключения побочных эффектов) и позволил измерить световое давление. Количественно результат хорошо совпал с выводами Максвелла. Квантового объяснения светового давления в то время ещё не было.

III. Формирование представлений о давлении света продолжается при решении задания 4.

1. Почему хвост кометы направлен в сторону, противоположную Солнцу?
2. Определите силу давления солнечного излучения на  $1 \text{ м}^2$  земной поверхности при отвесном падении лучей, если солнечная постоянная  $1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ . Отражением света можно пренебречь.

IV. При подведении итогов урока повторяют главные его моменты. Дополнительно обсуждают *проблемы*: какое значение имеет давление света на газы? Почему опыты Лебедева имеют важное историческое значение в физике?

*Домашнее задание:* § 72 (часть), 73\* (5); статья П. Н. Лебедева «Световое давление» из Хрестоматии (с. 163—167).



Условная схема опыта Лебедева:

- 1 — нить; 2 — зеркальце;  
3 — зачернённые крылышки;  
4 — зеркальные крылышки;  
5 — шкала

Рис. 124

## Урок 10\*. Обобщающее повторение

**Задачи урока:** привести в систему представления о корпускулярной теории света; углубить знания о корпускулярно-волновом дуализме; продолжить формирование умения решать задачи.

### Ход урока

I. В начале урока выступает ученик с кратким докладом об истории открытия квантовых свойств света (7—8 мин). Далее систематизация изученного в теме материала может быть выполнена по следующему плану:

*факты* — опыты Столетова;

*гипотезы* — идея Планка, идея Эйнштейна о квантах;

*следствия* — объяснение фотоэффекта, давления света и др.;

*применение теории* — фотоэлементы.

В своём рассказе учитель углубляет представления школьников о корпускулярно-волновом дуализме света. Как соотносятся между собой волновые и квантовые свойства света — основная учебная проблема урока.

С макроскопической точки зрения свет — электромагнитные волны. С микроскопической точки зрения свет — поток фотонов. Особенно отчётливо корпускулярные свойства света проявляются при его излучении слабыми источниками. Мысленно рассмотрим следующий эксперимент. Источник света испускает отдельные фотоны, которые, проходя через отверстие в экране (щели в дифракционной решётке), попадают на фотопластинку (рис. 125). Каждый фотон как частица попадает только в одну точку фотопластинки. За большой промежуток времени на пластинку попадает много фотонов. При этом обнаруживается закономерность: фотоны попадают в одни места на фотопластинке чаще, в другие — реже, а в определённые места не попадают

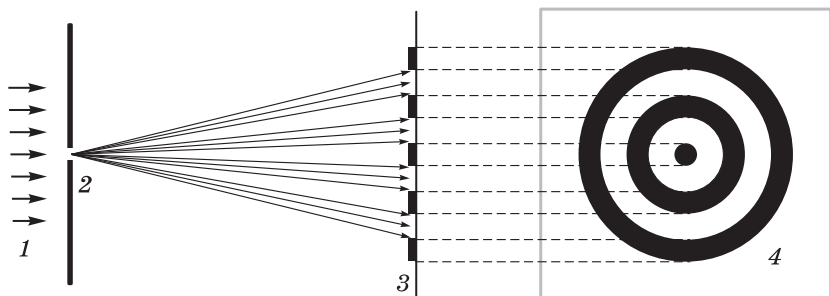


Схема опыта по дифракции света:

1 — пучок света; 2 — круглое отверстие в непрозрачном экране;  
3 — экран; 4 — темные и светлые кольца на экране

Рис. 125

совсем (рис. 126). В итоге образуется дифракционная картина, в целом объясняемая волновой теорией света. Потемнение фотопластинки определяется количеством фотонов, падающих на неё. Макроскопическая картина является результатом усреднения микроскопической картины.

Так как свет проявляет волновые и корпускулярные свойства, говорят о дуализме (двойственности) свойств света. В тех случаях, когда световые потоки состоят из большого числа фотонов и взаимодействуют с макротелами, резко проявляются волновые свойства. Так, солнечный свет представляет собой «дождь» фотонов порядка  $10^{21}$  фотонов на  $1 \text{ м}^2$  в секунду. Естественно, что при таком огромном числе фотонов квантовая картина взаимодействия фотонов с макроскопическим телом усредняется. Поведение каждого отдельного фотона здесь незаметно.

Проявление квантовых или волновых свойств электромагнитных волн зависит от частоты волны. Так, фотоны радиоволны длиной волны 32 м обладают энергией порядка  $10^{-26}$  Дж. Для того чтобы зафиксировать такие фотоны чувствительными приборами, необходимо  $10^{10}$ — $10^{12}$  фотонов. В этом случае, если фотонов очень много и отдельный фотон незаметен, наблюдают электромагнитную волну. Чем больше частота излучения, тем больше энергия отдельного фотона и тем ярче проявляются квантовые свойства излучения: некоторые явления в микромире вызываются отдельными фотонами.

**II. Для самостоятельной работы (20—25 мин) предлагаем следующие задания.**

#### Вариант I

1. Красная граница фотоэффекта для лития  $6 \cdot 10^{14}$  Гц. Определите работу выхода и кинетическую энергию выбитых электронов, если на металл падает свет, имеющий частоту  $6 \cdot 10^{14}$  Гц.
2. Объясните интерференцию света с точки зрения квантовой теории.

#### Вариант II

1. Определите массу и энергию фотонов, излучаемых радиопередатчиком, работающим на частоте 200 кГц.
2. Опишите давление света с точки зрения квантовой теории.

**III. Домашнее задание:** по выбору упр. на с. 278 (6—8, ЕГЭ) или П., № 810.

Связь волновых  
и квантовых свойств света  
Картина дифракции  
одиночных фотонов



Рис. 126

## Глава XII. АТОМНАЯ ФИЗИКА

При планировании уроков рекомендуем, во-первых, выделить урок для закрепления представлений о корпускулярно-волновом дуализме; во-вторых, рассмотреть спектры на основе квантования энергии атома; в-третьих, на уроке обобщения раскрыть значимость идеи квантования в современной физике.

С нашей точки зрения, следует логику современного теоретического познания довести до следствий — спектров и химического действия света. Очевидно, что на решении задач также не стоит экономить время.

### Урок 1\*. Корпускулярно-волновой дуализм свойств микрочастиц

**Задачи урока:** расширить понятие о корпускулярно-волновом дуализме микрочастиц.

#### Ход урока

I. Постановка задач урока.

II. Примерное содержание рассказа учителя о дуализме свойств света приведено ниже (см. также с. 190).

1. Ранее мы узнали, что электромагнитные волны состоят из элементарных частиц — фотонов. В одних явлениях, таких как интерференция и дифракция, свет проявляет себя как волны. В этих явлениях участвует очень большое число фотонов, и мы наблюдаем их суммарное действие на макроскопические тела, причём отдельные фотоны незаметны. В других явлениях, например в фотоэффекте, на первый план выступает взаимодействие отдельного фотона с микрочастицей — электроном и проявляются квантовые свойства света. Наличие у одного и того же объекта — света — свойств непрерывных волн и свойств потока дискретных частиц (корпускул) называется **корпускулярно-волновым дуализмом** (двойственностью) свойств света.

Кроме фотонов, имеются и другие микрочастицы, они входят в состав вещества. Это известные нам лёгкие электроны и более тяжёлые протоны. Они в отличие от фотонов имеют массу покоя  $m_0 \neq 0$ . Как же обстоит дело с этими микрочастицами, обладают ли они дуализмом свойств?

2. В 1928 г. физики Дж. П. Томсон и П. С. Тартаковский независимо друг от друга поставили эксперименты, в которых поток электронов взаимодействовал с поверхностью кристаллических тел. Правильное чередование атомов в кристалле создаёт условия для дифракции коротких волн. Так, при отражении от кристаллических поверхностей наблюдается дифракция рентгеновских лучей, которые представляют собой электромагнитные волны.

Но и для электронов в названных опытах наблюдалась дифракционная картина! Электроны вели себя как волны длиной волны порядка  $1 \text{ \AA}$ . Рассмотрим явление дифракции электронов.



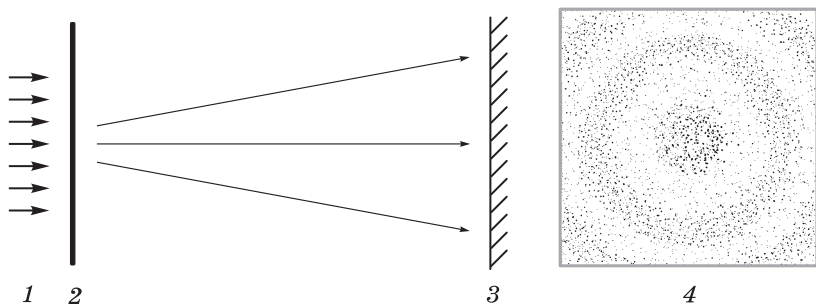


Схема опыта по дифракции электронов и вид дифракционной картины:  
 1 — поток электронов; 2 — тонкая металлическая фольга;  
 3 — экран; 4 — дифракционная картина

Рис. 127

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 127.

Электроны, попадая на фотопластинку, «засвечивают» её (подобно свету). После проявления пластинки обычным способом на ней обнаруживаются тёмные области, такие же, какие получают в результате дифракции волн.

Причём по расстоянию между кольцами определяют длину волны. На рисунке 128 представлен результат дифракции рентгеновских лучей (рис. 128, а) и электронов (рис. 128, б) на поликристалле алюминия. Фотография на рисунке а получена с помощью рентгеновских лучей с длиной волны  $0,71 \text{ \AA}$ , на рисунке б — с помощью пучка электронов с энергией  $60 \text{ эВ}$  ( $\lambda = 0,50 \text{ \AA}$ ). Для сопоставления обоих снимков фотография на рисунке б увеличена в 1,6 раза.

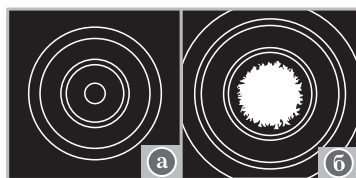


Рис. 128

3. Как объяснить результаты эксперимента? Какой вывод следует сделать из наблюдаемого явления дифракции электронов? На эти вопросы попытался ответить французский физик Луи де Бройль. Ещё в 1923 г. он высказал предположение о том, что любые микрочастицы обладают волновыми свойствами. По гипотезе де Бройля состояние движения любой свободной микрочастицы характеризуется волной, частота и длина волны которой определяются по формулам

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad \nu = \frac{E}{h},$$

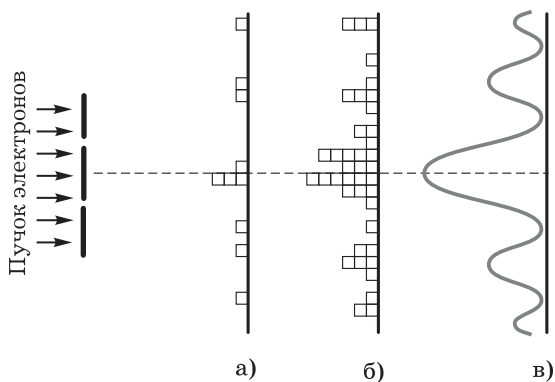
где  $p = mv$  — импульс частицы, а  $E = \frac{mv^2}{2}$  — её энергия. Поэтому электроны в опытах и проявляют волновые свойства. Зная

скорость электрона, можно вычислить длину его волны. Результат совпадает с измеренной длиной волны по расстояниям между дифракционными кольцами. (Школьники зарисовывают принципиальную схему *опыта*, записывают формулы, зарисовывают схематическую картину дифракции. Важно логически последовательно и ясно изложить материал, не увлекаясь деталями.)

4. Полезно заметить, что формулы де Бройля и формулы Планка—Эйнштейна аналогичны, т. е. связь между волновыми и корпускулярными величинами для фотонов, частиц без массы, и микрочастиц с массой одна и та же. При этом фотонам соответствует макроскопическое электромагнитное поле, а волны де Бройля для электронов и других микрочастиц такого поля не образуют, не являются они и волнами в какой-либо материальной среде, подобно звуковым. В настоящее время установлено, что волны, связанные с микрочастицами, имеют вероятностный смысл: вероятность нахождения микрочастицы в том или ином месте пространства пропорциональна квадрату амплитуды волны.

Это положение непосредственно было подтверждено опытами известного физика В. А. Фабриканта (совместно с Л. М. Биберманом, Н. Г. Сушкиным) по дифракции одиночных, поочерёдно летящих электронов. Отдельный электрон, проходя через дифракционную решётку, попадает в отдельную точку фотопластинки и вызывает на ней потемнение в виде отдельного пятнышка. Однако после прохождения через решётку множества отдельно летящих электронов получается дифракционная картина (рис. 129). Она вполне аналогична картине, которую дают потоки фотонов.

Вероятность попадания электрона в разные точки пластинки различна. Там, где образуется дифракционный максимум, ве-



Распределение световых вспышек на экране после: а) 10 событий; б) 40 событий; в) нескольких тысяч событий

Рис. 129

роятность попадания больше, электроны чаще оказываются на пластинке. А там, где минимум, электроны очень редко попадают на пластинку. Это и значит, что электроны движутся в пространстве и взаимодействуют с дифракционной решёткой, как волны.

Итак, электроны (и другие микрочастицы) обладают двойственностью, т. е. корпускулярными и волновыми свойствами. Электроны и протоны имеют очень малые размеры (радиус протона  $\sim 10^{-15}$  м, а электрона ещё меньше) и ведут себя при столкновении друг с другом и микрочастицами как маленькие тела — корпускулы, проявляя при этом корпускулярные свойства. Волновые свойства микрочастиц проявляются в том, что положение их в пространстве и взаимодействие с макроскопическими телами определяются соответствующей частице волной. Волновые свойства приводят к тому, что для микрочастиц оказываются неприменимыми понятия движения по траектории и законы классической механики.

Граница между квантовой и классической картиной движения определяется на основании формул де Бройля: если длина волны частицы значительно меньше размеров тел, с которыми она взаимодействует, то волновая картина несущественна — частица движется по законам классической механики; если же длина волны сравнима с размерами тел, то проявляются волновые закономерности движения частицы.

**III. Закрепление материала** можно осуществить, решая задачи. Приведём примеры за д а ч.

1. Определите длину волны электрона, движущегося со скоростью  $6 \cdot 10^5$  м/с.
2. Определите длину волны нейтрона, движущегося со скоростью  $2 \cdot 10^3$  м/с.
3. Пылинка массой  $10^{-5}$  кг движется со скоростью 10 м/с. Проявляет ли она при своём движении волновые свойства?

**Решение.** Формулы де Бройля справедливы для любого тела. Определим длину волны пылинки:

$$\lambda \approx \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 10^{-5} \text{ кг}} \approx 6,62 \cdot 10^{-30} \text{ м.}$$

Длина волны так мала, что размеры частицы во много раз больше её, поэтому волновые свойства пылинки не проявляются.

**IV. Домашнее задание:** решение за д а ч.

1. В опыте по дифракции электроны ускорялись разностью потенциалов 100 В. Определите длину волны де Бройля электронов. На каких объектах можно наблюдать их дифракцию?
2. В каком случае проще наблюдать дифракцию электронов: при скорости электронов  $10^3$  м/с или  $10^5$  м/с?

## Урок 2. Опыт Резерфорда. Ядерная модель атома

**Задачи урока:** изучить планетарную модель атома; познакомиться с фундаментальным опытом Резерфорда; показать роль крупных учёных в развитии науки на примере жизни и деятельности Резерфорда.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение материала предыдущего урока	10—12	Фронтальный и письменный опрос. Решение задач
II. Изложение нового материала. Выступление ученика с докладом о Резерфорде	18—20	Рассказ учителя с элементами беседы. Демонстрация модельного эксперимента. Записи учащихся в тетрадях
III. Отработка изученного материала	15	Решение задач
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	2	Сообщение учителя. Запись на доске

I. Урок начинается с фронтального повторения и проверки домашнего задания. Организуют беседу, используя иллюстрации. Примерные *вопросы* для беседы: каково значение опытов по дифракции электронов? В чём состоит гипотеза де Бройля? В чём заключаются волновые свойства и корпускулярные свойства микрочастиц? Образуется ли дифракционная картина одним электроном? Объясните образование дифракционной картины от множества электронов, движущихся поодиночке. Какие корпускулярные характеристики частицы можно определить, зная её длину волны де Бройля?

II. При подготовке к изложению нового материала прежде всего встаёт вопрос о демонстрации изучаемого *опыта*. В школьных условиях опыт Резерфорда можно показать с помощью специальной модели. В литературе описаны следующие модели: падение отрицательно заряженных капель на отрицательно заряженный шарик, падение маленьких керамических магнитов в масле на закреплённый магнит, специально изготовленная механическая модель. Подробнее об этих опытах можно прочитать в книгах: Х о р о ш а в и н С. А. Техника и технология демонстрационного эксперимента. — М.: Просвещение, 1978; А н ц и ф е р о в Л. И., П и щ и к о в И. М. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента. — М.: Просвещение, 1984.

С помощью ЭВМ можно смоделировать явления, разработав соответствующую программу. Кроме того, учебные действия «в материальной или материализованной форме» могут быть

обеспечены организацией работы учащихся с таблицей и рисунками.

Возможен следующий вариант рассказа учителя.

Из курса физики и курса химии известно, что все тела состоят из атомов. В центре атома находится положительно заряженное ядро. Вокруг ядра движутся отрицательно заряженные электроны. Электроны располагаются вокруг ядра на разных расстояниях, образуя электронные слои. Известно также, сколько электронов может находиться в слое и подслое — оболочке. Но до сих пор физические законы, по которым устроен атом, не изучались. Сейчас наша *задача* в том, чтобы изучить эти законы.

В истории развития физики одна из самых интересных и увлекательных страниц — это история открытия сложного строения атома. На протяжении веков люди думали о строении вещества. В конце XIX — начале XX в. идеи о строении атома витали в воздухе. Вот что писал в 1887 г. в своих дневниках студент Пётр Лебедев, впоследствии замечательный русский физик: «Каждый атом... представляет собой полную солнечную систему, то есть состоит из различных атомопланет, вращающихся с разными скоростями вокруг центральной планеты или каким-либо другим способомдвигающихся характерно периодически» [9, с. 23]. Такие догадки создавали духовную атмосферу, в которой в конце концов и рождалось открытие, ведь в то время ничего о внутреннем строении атома не было известно.

Слово «атом» в переводе с греческого — неделимый. Но после открытия в 1897 г. электрона, входящего в состав атома, был сделан вывод о сложном строении атома. Первая достаточно разработанная **модель атома** была предложена английским физиком Дж. Дж. Томсоном, открывшим электрон (см. учебник). Томсон с помощью данной модели объяснил ряд физических явлений. Например, хорошая проводимость металлов объяснялась тем, что атомы металлов легко теряют часть электронов. Первая модель атома сыграла положительную роль: в дальнейшем была использована верная идея о слоях электронов в атоме, о потере электронов атомами. Однако скоро обнаружилось несоответствие модели реальной действительности. В частности, модель атома Томсона оказалась в противоречии с результатами опыта Резерфорда.

В 1909—1911 гг. Резерфорд экспериментально доказал, что у атома есть ядро. В мае 1911 г. на страницах лондонского «Философского журнала» он изложил результаты экспериментальных и теоретических поисков в области строения атома: ядро занимает в атоме ничтожную часть объёма, оно положительно заряжено, и в нём сосредоточена почти вся масса атома, так как электроны по сравнению с атомом очень лёгкие частицы; электроны движутся вокруг ядра.

Установка и схема опыта Резерфорда показаны на рисунке 130. Альфа-частицы от радиоактивного источника, пройдя через диафрагму, попадают на тонкую фольгу из золота. Она име-

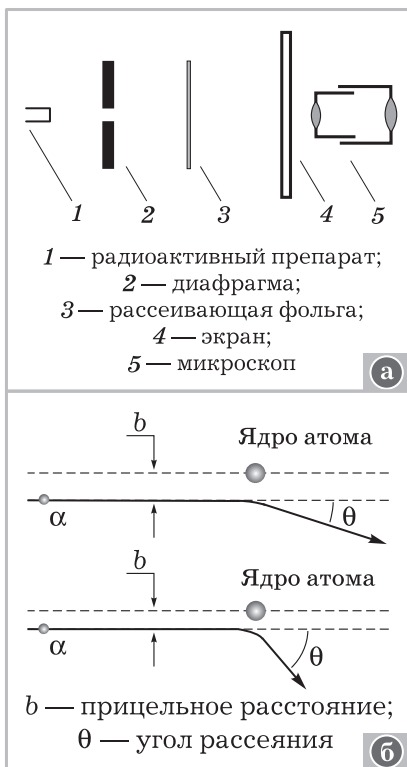


Рис. 130

тельно большой человек, но крупный учитель не может не быть большим человеком».

**III. Закрепление изученного** продолжается при решении задач. Приведём примеры.

1. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц показали: а) электрон вращается в атоме по круговой орбите; б) альфа-частицы положительно заряжены; в) атом не взаимодействует с альфа-частицами; г) атом состоит из малого по объёму и массивного ядра и лёгких электронов; д) атом состоит из заряженных частиц. Выберите правильный и исчерпывающий ответ.
2. Как объяснить, что в опытах Резерфорда некоторые альфа-частицы отклоняются на большие углы?
3. Чему будет равен угол рассеяния, если прицельное расстояние равно нулю?
4. На какое минимальное расстояние может приблизиться альфа-частица к ядру атома золота, если её кинетическая энергия 0,4 МэВ?

**IV. Домашнее задание:** § 74; Хрестоматия (с. 187—191).

ет толщину около микрона, т. е. состоит приблизительно из 3000 атомных слоёв. Большая часть альфа-частиц легко проходит через фольгу, мало отклоняясь, но некоторые, редкие альфа-частицы отклоняются на значительные углы и даже на углы, близкие к  $180^\circ$ , т. е. отбрасываются назад.

Далее результаты опыта интерпретируются и строится **электронно-ядерная модель атома**.

Этот этап урока заканчивается рассказом о Резерфорде. Для доклада ученику следует порекомендовать книгу: Капца П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. — М.: Наука, 1974. В частности, в своих воспоминаниях он писал: «Я не могу вспомнить другого учёного — современника Резерфорда, в лаборатории которого воспитывалось бы столько крупных физиков. История науки показывает, что крупный учёный — это не обяза-

## Урок 3. Теория Бора

**Задачи урока:** изучить постулаты Бора, описывающие основные свойства атома; познакомить с личностью этого замечательного учёного, его смелыми и революционными работами, положившими начало новой физической теории; продолжить формирование умений выделять и описывать физические явления.

### Ход урока

I. Проводят фронтальную беседу по изученному на предыдущем уроке материалу. Вызванный ученик готовится по карточке с вопросами и отвечает у доски.

II. Краткое содержание рассказа учителя по новому материалу.

1. Открытие ядра атома поставило перед физиками ряд вопросов. Если применять к движению электрона внутри атома законы классической механики и электродинамики, то планетарная модель при объяснении происходящих в атоме явлений приводит к серьёзным противоречиям. Под действием притяжения к ядру электрон может двигаться по окружности с центростремительным ускорением, которое можно рассчитать из второго закона Ньютона:

$$ma = k \frac{Ze^2}{r^2}, \quad (1)$$

$$a = \frac{mv^2}{r} = \frac{kZe^2}{mr^2}.$$

Из электродинамики известно, что ускоренно движущийся заряд излучает электромагнитные волны, т. е. атом должен излучать свет и в результате терять энергию. Потеря энергии приведёт к уменьшению скорости электрона и расстояния до ядра, равенство (1) — условие устойчивости орбиты — нарушится, электрон упадёт на ядро, а атом прекратит своё существование. В действительности атомы излучают свет, но не исчезают при этом — время их жизни очень велико.

Кроме того, частота излучения атома должна в соответствии с классической электродинамикой быть равной частоте обращения электрона вокруг ядра. Последняя же по мере торможения электрона в связи с потерей энергии на излучение должна плавно изменяться. Однако опыт показывает, что атомы испускают свет строго определённых частот.

Таким образом, классические законы к планетарной модели атома неприменимы. Нетрудно понять почему: ведь электрон — микрочастица, к которой неприменимы некоторые законы классической физики. В частности, мы знаем, что при движении электрон проявляет волновые свойства, а они в приведённых выше рассуждениях не учтены.

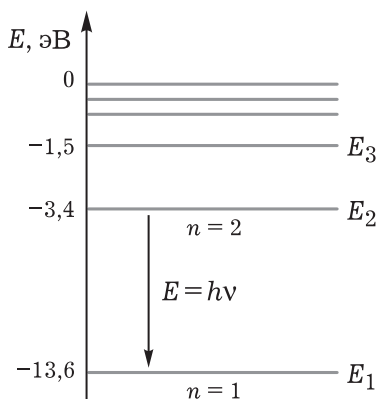


Рис. 131

**2. Следующий шаг в познании строения и физических свойств атомов был сделан датским физиком Нильсом Бором. Он предложил модель атома на основе двух постулатов.**

Согласно первому постулату возможны состояния микросистем с дискретными значениями энергии. На рисунке 131 изображены дискретные значения энергии возможных стационарных состояний атома водорода. Согласно второму постулату в микромире возможны переходы между такими состояниями, сопровождающиеся по закону со-

хранения энергии излучением или поглощением квантов энергии электромагнитных волн.

**3. Учитель может оживить изложение, сообщая некоторые исторические сведения.** Бор с самого начала, как пишет Б. Клайн, чётко поставил вопросы: «А нельзя ли с помощью квантовой гипотезы разрешить и проблему строения атома? Не существуют ли другие ограничения значений энергии, которые объяснят, почему вещество в обычных условиях не светится и почему электрон не падает на ядро?» [13, с. 98].

С этими вопросами связан и другой, более конкретный: «Какое же отношение имеет к частоте излучаемого света частота вращения электрона вокруг ядра?» Ответ Бора был: «Никакого». Этот ответ в корне противоречил представлениям классической физики. А. Эйнштейн высоко оценил решение Бора: «Так, значит, частота излучаемого света вообще не зависит от частоты вращения электрона!.. Это огромное завоевание...» [9, с. 84].

Н. Бор сформулировал свои постулаты в 1913 г. В заключении своей классической работы «О строении атомов и молекул» он писал: «1) Энергия излучения испускается (или поглощается) не непрерывным образом, как это принимается в обычной электродинамике, а только лишь во время перехода системы между различными «стационарными» состояниями. 2) Динамическое равновесие систем в стационарных состояниях определяется обычными законами механики, но эти законы несправедливы для перехода систем между различными стационарными состояниями. 3) Излучение, испускаемое во время перехода системы между двумя стационарными состояниями, однородно, а соотношение между частотой  $\nu$  и полной испущенной энергией  $E$  имеет вид  $E = h\nu$ , где  $h$  — постоянная Планка. 4) Различные стационарные состояния простой системы, состоящей из положительного ядра и электрона, вращающегося вокруг него, опре-



деляются условием, согласно которому отношение полной энергии, испущенной при изменении конфигурации, к частоте обращения электрона является целым кратным величины  $1/2h...$ » [11, с. 88—89].

4. Теория Бора не сняла, но на время сгладила противоречия между классическими и квантовыми представлениями о строении атома, так как она использовала и те и другие. В частности, было непонятно, что лежит в основе квантовых переходов электрона с орбиты на орбиту.

Э. Резерфорд, прочитав работу Бора, писал: «Ваши взгляды на механизм рождения водородного спектра очень остроумны и кажутся отлично разработанными. Однако сочетание идей Планка со старой механикой делает весьма затруднительным понимание того, что же лежит в основе такого механизма...» [9, с. 84].

Данная цитата ещё с одной стороны характеризует атмосферу времён создания квантовой теории: глубокое проникновение в суть происходящих явлений осуществлялось в дискуссиях, в спорах.

5. Далее рассматривают следствия постулатов Бора. Сначала надо найти частоту электромагнитных волн, которые может излучать или поглощать атом. Энергия излучаемого фотона есть разность уровней энергии

$$\varepsilon = E_k - E_n.$$

По формуле Планка—Эйнштейна  $\varepsilon = h\nu$ , откуда

$$\nu = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h}.$$

Рассматривая рисунок уровней энергии атома водорода, отмечают, что атом может испускать свет только определённых частот.

Итак, постулаты Бора отражают свойства реальных атомов — устойчивость их в стационарных состояниях и излучение определённых частот. В то же время они содержат новую и важную информацию о любых системах микрочастиц: эти системы могут иметь дискретные уровни энергии, могут совершать переходы — квантовые скачки.

III. В конце урока повторяют и углубляют изученное. Для этого можно разобрать с учащимися диаграммы энергетических уровней атома водорода (см. рис. 131). Учитель подчёркивает, что эта диаграмма рассчитана в современной теории и проверена с помощью измерений на опытах; разъясняет, что в низшем энергетическом состоянии электрон может находиться сколько угодно долго, не излучая энергию вопреки законам классической физики. Поглотить же энергию он может, при этом перейдёт в одно из изображённых на диаграмме возбуждённых состояний. Следует рассчитать (в электронвольтах) энергию, которую нужно сообщить атому для таких переходов.

Приведём примеры вопросов и задач для коллективного решения.

1. В каком состоянии энергия электрона меньше: в основном или в возбуждённом?
2. Определите наименьшую энергию, которую надо сообщить атому водорода, чтобы перевести его в ионизированное состояние.
3. Сколько квантов с различной энергией может испустить атом водорода, если он находится в третьем энергетическом состоянии?
4. Чем отличается модель атома по Бору от модели атома по Резерфорду?
5. Какие новые закономерности микромира открыл Н. Бор? Почему они были сформулированы в виде постулатов? Чем они противоречат классическим представлениям?

Научное творчество Н. Бора не сводится к созданию только теории водородоподобного атома. Он внёс значительный вклад в понимание закономерностей всей квантовой механики. Можно познакомить школьников с выдвинутыми Бором принципом дополнительности и принципом соответствия. Для этого лучше всего использовать материал книги.

«Бор считает принцип неопределённости следствием более общего принципа, принципа дополнительности, согласно которому нельзя в одном эксперименте обнаружить и волновые и корпускулярные свойства материи. <...> Поэтому волновые и корпускулярные свойства нужно считать не противоречащими друг другу, а дополняющими друг друга» (Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. — М.: Либроком, 2010).

Для более полного представления **принципа дополнительности** используется энциклопедия: «Получение экспериментальной информации об одних физических величинах, описывающих микрообъект (элементарную частицу, атом, молекулу), неизбежно связано с потерей информации о некоторых других величинах — дополнительных к первым. Такими взаимно дополнительными величинами являются, например, координата частицы и её скорость (или импульс)... С физической точки зрения принцип дополнительности объясняют (следуя Бору) влиянием измерительного прибора (который всегда является макроскопическим объектом) на состояние микрообъекта. При точном измерении одной из дополнительных величин (например, координаты частицы) с помощью соответствующего прибора другая величина (импульс) в результате взаимодействия частицы с прибором претерпевает такое изменение, что её последующее измерение вообще теряет смысл» [23, с. 170].

В понимании соотношения между классической механикой и квантовой важная роль принадлежит **принципу соответствия**, сформулированному Бором в 1923 г. Для подготовки докладов учащиеся могут использовать статью В. А. Угарова «Клас-

сическая и квантовая механика» из книги «Школьникам о современной физике. Физика сложных систем» (М.: Просвещение, 1978. — С. 112—128). Принцип соответствия гласит: «При переходе к пределу  $h \rightarrow 0$ , т. е. в предположении, что эффектами, пропорциональными квантовой постоянной  $h$ , можно пренебречь, законы и соотношения квантовой механики переходят в соответствующие законы и соотношения классической механики». Следовательно, квантовая механика в применении к явлениям макромира должна приводить к законам классической механики. Принцип соответствия помогает как в поиске важных соотношений квантовой физики, так и в физической интерпретации установленных законов.

**IV. Домашнее задание:** § 75; упр. на с. 288 (ЕГЭ); упр. на с. 297 (1, 2).

## Урок 4\*. Решение задач

В начале урока фронтально повторяют теорию Бора, затем учитель, несколько дополняя материал учебника, приводит формулы для радиуса и энергии атома водорода:

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 k e^2 m} n^2 = a_0 n^2 = 0,5 n^2 (\text{Å}),$$

$$E = -\frac{k e^2}{2 a_0} \cdot \frac{1}{n^2} = R y \frac{1}{n^2} =$$

$$= -13,6 \frac{1}{n^2} (\text{эВ}),$$

где

$$a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 k e^2 m} = 0,5 \text{ Å},$$

$$R y = \frac{k e^2}{2 a_0} = -13,6 \text{ эВ},$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Аргументация при этом самая простая: с помощью постулатов Бора можно получить теоретические выражения для расчётов энергии атома в разных состояниях — квантовых состояниях.

Далее на уроке коллективно выполняют задания.

1. Может ли электрон в атоме водорода иметь энергию  $-20,5$  эВ?
2. Какой смысл имеет отрицательный знак полной энергии электрона в атоме водорода?

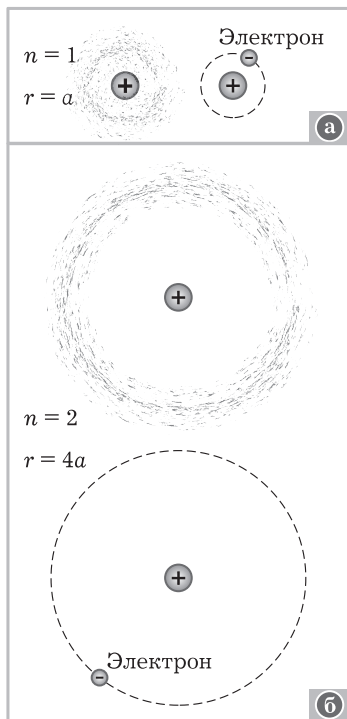


Рис. 132

3. Изменяется ли электронное облако при переходе атома из одного энергетического состояния в другое?
4. Квантуется ли энергия электрона, если он свободен?
5. Почему при расчёте энергии электрона в атоме использовались средние значения расстояния электрона до ядра?
6. Изменяются ли размеры атома с ростом квантового числа  $n$ ? Определите радиус атома в третьем энергетическом состоянии, сравните его с радиусом в первом состоянии (рис. 132).

*Домашнее задание:* § 75, 77\* (1, 2); П., № 826, 832.

## Урок 5. Испускание и поглощение света атомами. Спектры

**Задачи урока:** познакомить с линейчатыми спектрами, способами их получения, механизмами возбуждения атомов, со спектрами поглощения; изучить линейчатый спектр (ДЭ-2, с. 217—219); продолжить формирование умений выделять и описывать физические явления.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	8—10	Решение задач. Ответы на вопросы
II. Изучение нового материала	12—15	Рассказ учителя. Опыты. Беседа. Записи в тетрадях. Рисунки
III. Самостоятельная работа	20	Решение задач. Работа с учебником
IV. Домашнее задание	1—2	Запись на доске

I. Вновь повторяют постулаты Бора, формулу для энергии электрона в атоме водорода, энергетическую диаграмму. У доски во время фронтального опроса решают и обсуждают задачу.

II. Изучение нового материала начинается с обсуждения *вопроса*: что происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое? Он составляет основу *учебной проблемы* урока.

Беседа продолжается по *вопросам*: можно ли с помощью постулатов Бора и формулы Планка определить частоту излучаемых (поглощаемых) электромагнитных волн? Что нужно знать, чтобы рассчитать эту частоту для атома водорода?

Подставляя значения энергии

$$E_n = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{ (эВ)}$$

в известную формулу

$$\nu = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h},$$

получаем при переходе из состояния  $k$  в состояние  $n$  следующее выражение для частоты излучения:

$$\nu = \frac{Ry}{h} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

где  $k, n = 1, 2, 3, \dots; k > n$ .

Если переход происходит из более высокого энергетического состояния в более низкое, то энергия излучается, а если наоборот — поглощается. Из выведенной формулы видно, что атом водорода может излучать и поглощать электромагнитные волны не любых, а определённых частот.

Совокупность входящих в излучение волн определённых частот называется **спектром**. Спектр изучают с помощью спектроскопов с призмой или дифракционной решётки. Спектр солнечного света состоит из почти непрерывной совокупности волн с различными длинами волн (рассматривают рисунок в учебнике). Спектр же атома водорода или какого-либо другого атома состоит из волн определённых длин волн, на экране получается совокупность отдельных узких линий. Спектр излучения и поглощения атома **линейчатый**. (Рассматривают линейчатые спектры на цветной вклейке учебника.)

Учитель может сообщить, что учёные изучали спектры задолго до выяснения строения атома. Длины волн (а значит, и частоты) излучения измерялись с высокой степенью точности. Экспериментально была получена, в частности, формула для частот излучения водорода:

$$\nu = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

где  $R$  — постоянная, названная в честь шведского спектроскописта Ридберга. Она измерена опытным путём:  $R \approx 3,28 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{с}}$ .

Ранее мы получили аналогичную формулу теоретически. Осталось сравнить экспериментальное значение константы  $R$  с теоретически рассчитанным:

$$\frac{Ry}{h} = \frac{2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}}{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}} \approx 3,29 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{с}}.$$

Таким образом, экспериментальное значение константы согласуется с теорией атома водорода по Бору, что подтверждает правильность постулатов последней.

Рассмотрим **энергетический баланс** излучения. Для того чтобы атом излучал, необходимо его возбуждение, т. е. сообщение энергии извне, так как в обычном — основном невозбуждённом — состоянии атомы имеют наименьшее значение энергии. Существуют различные механизмы возбуждения атомов.

На практике используют **оптическое возбуждение**: под действием света (электромагнитных волн) атом приобретает энергию и переходит из низших энергетических состояний в высшие. При этом в соответствии с дискретным характером уровней атом может поглотить не любой квант, а только такой, энергия которого равна разности энергий двух уровней атома. Последнее означает, что атомы поглощают электромагнитные волны той же частоты, что и излучают.

Пусть мы имеем свет всевозможных частот. Если его пропустить через газ, состоящий из атомов (можно показать на *опыте*), то на экране на фоне сплошного спектра появятся тёмные линии поглощения. Это линейчатый спектр поглощения.

Существуют и другие способы возбуждения атомов, например **тепловой**. Если тело (в твёрдом, жидком, газообразном состоянии) нагревать, то хаотичное движение атомов ускоряется, при соударениях атомы получают энергию, необходимую для возбуждения. В результате вещество начинает испускать свет.

В заключение надо остановиться на вопросе о причинах перехода атома из высшего энергетического состояния в низшее. Согласно первому постулату Бора атом в стационарном состоянии не излучает и не поглощает, т. е. сам по себе из одного состояния в другое не переходит. Второй постулат говорит только об излучении при переходе, но не говорит о причине перехода.

Различают два вида излучения: **вынужденное** (индуцированное) и **самопроизвольное** (спонтанное). В первом случае причиной перехода атома из более высокого энергетического состояния в более низкое является внешнее воздействие на атом. Такое воздействие оказывает, в частности, электромагнитная волна или свет подходящей частоты. Но даже при отсутствии внешних воздействий атом через миллиардные доли секунды переходит из возбуждённого состояния в основное. Это — **спонтанное излучение**. Конечно, процесс спонтанного излучения протекает в соответствии с законом сохранения энергии, но он противоречит постулату Бора о стационарных состояниях. Однако в квантовой механике выясняется, что внешнее воздействие на атом есть и в этом случае: на микроуровне электромагнитное поле в вакууме всегда имеет место, даже если макроскопическая электромагнитная волна отсутствует. Это поле и вызывает спонтанные переходы.

**III.** Последний этап урока проходит в форме **самостоятельной работы** по выполнению упражнений. Используется учебник, записи в тетрадях. Учитель консультирует отдельных учеников.

Приводим примеры **з а д а н и й**, которые могут быть даны по вариантам.

1. Определите энергию фотонов, соответствующих излучению атома водорода в видимой части спектра (см., например, рисунок V на цветной вклейке учебника).
2. С помощью формулы энергии постройте диаграмму энергетических уровней атома водорода (пять-шесть состояний). Постоянно ли

расстояние между уровнями? При каких значениях  $n$  расстояние между ними меньше? Какую наименьшую и наибольшую энергии может излучить атом при переходе между уровнями? Может ли атом водорода излучить (поглотить) квант энергии 9,0 эВ? Можем ли мы увидеть излучение атома водорода, возникшее в результате перехода с четвёртого энергетического уровня на первый? Есть ли это излучение в спектре водорода на цветной вклейке?

3. Пользуясь диаграммой энергетических переходов атома водорода (рис. 133, 134), объясните, которая из серий переходов даёт инфракрасное, ультрафиолетовое, видимое излучения.
4. Какой из приведённых на рисунке 135 спектров является спектром излучения атома водорода?

**IV. Домашнее задание:** § 67\*, 75, 77\* (3, 4); упр. на с. 298 (5); индивидуально – П., № 828.

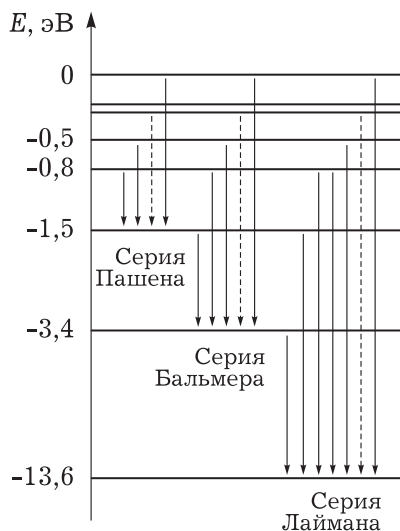


Рис. 133

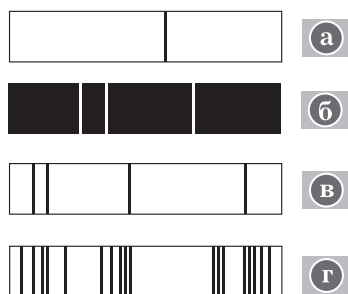


Рис. 135

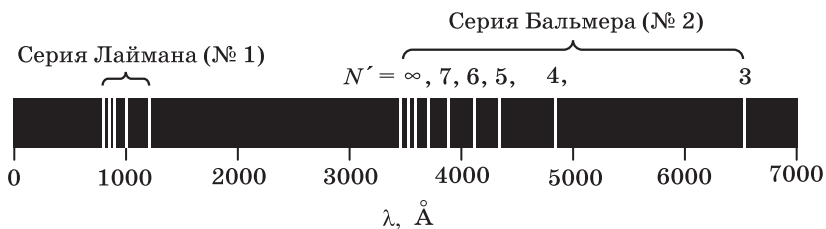


Рис. 134

## Урок 6. Спектральный анализ и его применение

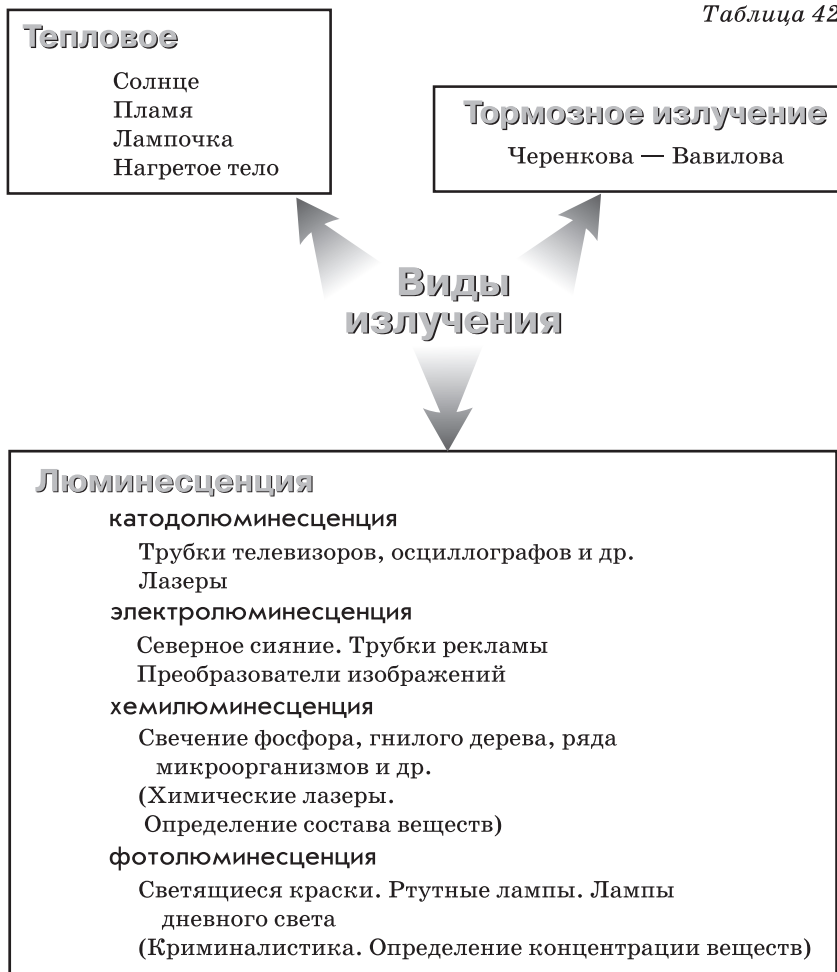
Предполагается классическое построение урока. Обратим внимание учителя лишь на несколько моментов.

1. При рассмотрении видов спектров и механизма излучения следует подчеркнуть квантовую природу явлений (см. [18]).

2. Виды излучения советуем систематизировать в форме таблицы 42.

3. Для организации беседы, для отработки знаний следует активно использовать вопросы и качественные задания. Приведём примеры *вопросов*: чем отличаются полосатые спектры от линейчатых? Почему спектры жидкостей и твёрдых тел сплошные? Чем различаются спектры атомарных и молекулярных газов?

Таблица 42





Каков принцип работы спектроскопа? Как изменяется длина волны излучения нагретой печи по мере её остывания? Если вещество имеет полосатый спектр и в основном полосы расположены в ультрафиолетовой части, то для каких волн прозрачно вещество? Как можно изменить цвет тела? Как изменится длина волны рассеянных волн, если жёлтое тело покрасить голубой краской? Как объяснить прозрачность тел? Почему одни тела прозрачны, а другие нет? Для всех ли электромагнитных волн прозрачно стекло? Есть ли в солнечном спектре поглощения линии спектра атома гелия?

Возможны и количественные задачи. Приведём примеры задач на спектры излучения.

1. Разрядная трубка наполнена водородом при низком давлении. При каком напряжении на электродах будет происходить возбуждение атомов?
2. При введении поваренной соли в пламя спиртовки в спектре излучения появляется жёлтая линия, соответствующая длине волны  $5,89 \cdot 10^{-7}$  м. Это излучение обусловлено переходом электронов атомов натрия из первого возбуждённого состояния в основное. Определите энергию излучаемого кванта. Будут ли возбуждаться атомы натрия, если температура пламени 2000 К?
3. Серии частот, излучаемых атомами водорода, получили названия по именам учёных. Серия линий, получающихся при переходе атома в основное состояние, получила название серии Лаймана, на второй уровень — серии Бальмера (см. рис. 133, 134). Определите, можно ли видеть излучение, представленное серией Бальмера.

Домашнее задание: § 67\*; упр. на с. 298 (4); индивидуально — П., № 834.

## Урок 7. Химическое действие света.

### Лабораторная работа «Наблюдение сплошного и линейчатого спектров»

#### Ход урока

I. Материал по химическому действию света сравнительно невелик, поэтому его можно соединить с кратковременной лабораторной работой по наблюдению спектров.

#### II. Изложение нового материала.

Под действием излучения происходят многие химические реакции. Одни из них приводят к образованию молекул, другие, наоборот, к разрушению молекул. Например, бромид серебра ( $\text{AgBr}$ ) под действием света разлагается на серебро и бром. Часто после расщепления некоторых молекул светом начинается целая цепочка химических превращений. Таким образом происходит выцветание красок тканей под действием солнечных лучей, образование загара на коже человека.

Для химических реакций, происходящих под действием света, экспериментально установлены две закономерности:

1. Масса прореагировавшего вещества пропорциональна энергии поглощённого света.

2. Свет с частотой, меньшей некоторой определённой частоты, не вызывает данную химическую реакцию. Существует красная граница каждой фотохимической реакции; для разных реакций она различна.

Эти закономерности аналогичны законам фотоэффекта. Как и в случае фотоэффекта, классическая физика не смогла объяснить происхождение красной границы фотохимической реакции.

Квантовая физика даёт такое объяснение.

Атомы и молекулы представляют собой системы микрочастиц. Энергия систем принимает дискретные значения; дискретные значения имеет и энергия, поглощаемая при распаде или образовании системы. Если энергия фотона недостаточна для расщепления молекулы на атомы, то химическая реакция, сопровождающаяся разрушением молекул, не пойдёт. В других случаях реакция синтеза не пойдёт, если энергия фотона недостаточна для образования новых молекул. Во время рассказа учитель показывает *опыт* по наблюдению действия света на фотобумагу. Лист фотобумаги, смоченный в проявителе, располагают вертикально и половину освещают через синий светофильтр белым светом. Опыт проводят при свете красного фонаря. Освещённая синим светом половина листа фотобумаги чернеет, а освещённая красным не изменяется. **Вывод:** химическая реакция идёт под действием света определённой длины волны.

Следующий *опыт* иллюстрирует зависимость массы прореагировавшего вещества от энергии света. На лист смоченной в проявителе бумаги быстро кладут плоский предмет (ключ и т. д.) и освещают сильным источником света. После этого предмет убирают и рассматривают оставшееся изображение при обычном свете (комната слегка затемняется). С течением времени изображение исчезает. Разъясняется, что в разных местах бумаги масса прореагировавшего светочувствительного вещества была разная, а после того как предмет убрали, энергия для реакции продолжала поступать со светом и прореагировало всё вещество.

**III.** Далее следует рассмотреть значение фотохимических реакций синтеза в зелёных растениях для жизни на Земле. Решают задачи.

1. Активация (химическое превращение) молекулы наступает при энергии  $2 \cdot 10^{-19}$  Дж. Произойдёт ли распад молекулы на атомы, если молекула поглотила фотон излучения длиной волны 300 нм?
2. В результате фотосинтеза в течение года на Земле образуется  $3 \cdot 10^{-11}$  т связанного углерода, в котором запасается энергия, равная  $1,26 \cdot 10^{22}$  Дж. Сколько потребовалось бы времени для выработки такой энергии всеми электростанциями России? (Справочник, с. 153.)

Обсуждают *вопросы*: почему выцветание красок происходит главным образом от лучей, цвет которых является дополнитель-

ным к цвету краски? Почему при горении кварцевых ламп чувствуется запах озона?

**IV.** Выполнение *лабораторной работы* осуществляется по инструкции учебника.

**V.** *Домашнее задание:* § 72 (часть); задание для индивидуального выполнения.

Для ионизации атома кислорода необходима энергия 14 эВ. Вызывает ли эту ионизацию видимое световое излучение?

## **Урок 8\*. Квантовые генераторы. Вклад русских физиков в создание и использование лазеров**

В учебнике тема изложена очень чётко. Школьников необходимо привлечь к подготовке кратких сообщений. Дополнительно приводим несколько задач. Их можно использовать для домашнего задания.

1. Энергия, испускаемая рубиновым лазером (длина волны  $6,983 \cdot 10^{-7}$  м, площадь поперечного сечения луча  $1 \text{ мм}^2$ ) за один импульс, равна 50 Дж. Лазер производит 96 импульсов в минуту. Сравните энергию, излучаемую лазером, с солнечной энергией, если на  $1 \text{ м}^2$  земной поверхности за 1 с падает солнечная энергия, равная 1400 Дж.
2. Мощность лазера может достигать значения до  $10^{13}$  Вт. Сравните это значение с мощностью крупнейших электростанций (Справочник, с. 154).
3. Оцените число фотонов, которое испускает лазер за один импульс. Энергия излучения 50 Дж, длина волны  $6,983 \cdot 10^{-7}$  м.

*Домашнее задание:* § 76\*; упр. на с. 293 (ЕГЭ).

## **Урок 9\*. Обобщающее повторение: роль квантовых законов в современной физике и технике**

Учитель на уроке стремится расширить кругозор учащихся в данной области знаний.

**I.** Систематизацию ранее изученного материала по квантовой физике осуществляет учитель по следующему *плану*:

1. Основные законы, понятия и представления квантовой физики.
2. Физический эксперимент и его значение.
3. Структурные схемы изученного материала, обобщающие таблицы (см. табл. 39 и др.).
4. Основные виды задач по изученному материалу и схемы их решения. (При этом имеется в виду и подготовка учащихся к контрольной работе, к зачёту по теме.)

**II.** Развивающим элементом урока является применение понятия о квантовании энергии при общем анализе строения вещества. Этот материал необходим для формирования мировоззрения школьников. Приведём примерное содержание рассказа учителя.

Квантовая физика имеет огромное значение для современной науки и техники. Ранее мы уже познакомились с важным техническим применением теории — лазерами. Не менее важное значение квантовая физика имеет в ряде разделов науки для понимания строения вещества. Существование стационарных состояний систем микрочастиц, связанных силами притяжения, характерно не только для атомов, но и для меньших по размерам частиц — ядер и таких элементарных частиц, как протоны и нейтроны, входящие в состав ядра, а также для больших, чем атомы и молекулы, систем — макроскопических твёрдых и жидких тел.

Для каждой системы характерна своя энергия связи. Если мы сообщим энергию, большую энергии связи, то система распадётся на составляющие её части. На рисунке 136 изображена диаграмма энергий связи для основных структурных единиц вещества.

Из диаграммы видно, в частности, что для химических реакций, в результате которых происходит соединение и разъединение атомов, входящих в состав молекул, необходима энергия от десятых долей электронвольт до десятков электронвольт. Этой энергии недостаточно для разделения ядер атомов на части, поэтому при химических реакциях химические элементы не изменяются.

Макроскопические тела состоят из огромного числа микрочастиц, связанных между собой молекулярными силами сцепления. Тела как системы частиц также находятся в стационарном состоянии. Температура тела является показателем интенсивности теплового движения микрочастиц в теле. Если температура ниже точки плавления, то кинетическая энергия теплового движения атома или молекулы недостаточна для разрыва связи между атомами и молекулами. Если же температура достигает точки плавления, то кинетическая энергия теплового движения равна энергии связи — связь разрушается, тело плавится. (Это происходит при разных температурах для разных тел.)

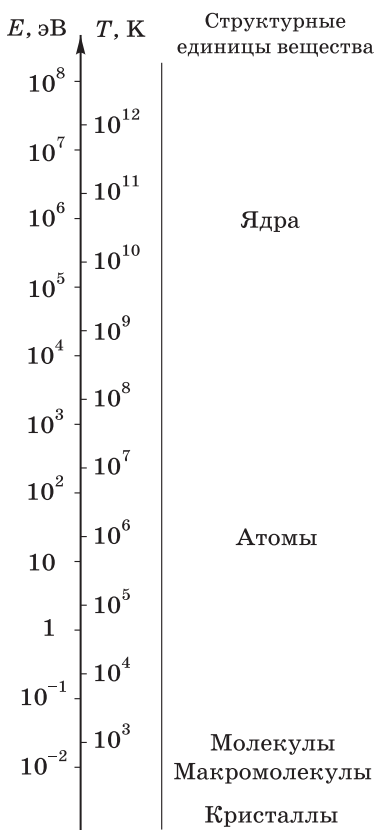


Рис. 136

Если продолжить нагревание жидкого тела, то жидкость перейдёт в газ — стационарное жидкое состояние разрушится. Газ — это система уже не связанных между собой атомов или молекул.

Нагревание до  $10^3$ — $10^4$  градусов приводит к разрушению молекул — образуется атомный газ. Если поднимать температуру атомного газа ещё выше, то атомы лишаются электронов, а газ становится смесью ядер и электронов — плазмой. Плазменное состояние существует при температурах  $10^6$ — $10^7$  градусов и выше: в конце концов ядра полностью лишаются электронов.

При огромных температурах, порядка  $10^9$  градусов, разрушаются и ядра. Вещество будет состоять из протонов, нейтронов и электронов.

Итак, не только три агрегатных состояния — твёрдое, жидкое, газообразное — обусловлены температурой и определённой энергией связи, но и существование вещества в форме ядер, атомов, молекул, химических соединений определяется температурой и энергией связи.

Органическое вещество белок — основа жизни — характеризуется невысокими энергиями связи молекул между собой и невысокими энергиями связи атомов в молекуле. Поэтому оно может существовать лишь при температурах до нескольких десятков градусов Цельсия. (В то же время температурный диапазон ограничен и снизу температурой замерзания воды, входящей в состав живых организмов.)

Можно рассмотреть примерные оценки температурных границ состояний вещества, произведя простые расчёты.

Например, если энергия связи электронов в атоме порядка 10 эВ, то температуру ионизации найдём из равенства средней кинетической энергии теплового движения атома энергии связи:

$$E = \frac{3}{2} kT,$$

$$T = \frac{2E}{3k} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}} \approx 10^5 \text{ К}.$$

**III.** Заключительная часть урока представляет собой обобщение знаний о применении законов квантовой физики в науке, технике, технологии. Два-три ученика делают доклады, обобщая и систематизируя ранее изученный материал, подбирая к нему новые иллюстрации.

*Темы выступлений:* 1. Спектральный анализ. 2. Использование фотоэффекта в технике. 3. Развитие лазерной техники. 4. Квантовая электроника.

**IV.** Домашнее задание: § 75, 77\*; упр. на с. 298 (ЕГЭ).

## Урок 10\*. Контрольная работа

В содержание возможной работы входит материал двух тем: «Световые кванты» и «Атомная физика».

### Глава XIII. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

Физика атомного ядра — важный и обширный раздел современной физики, для которого особенно характерно соединение теоретических и экспериментальных методов исследования. В нём широкое применение наряду с законами и формулами классической механики и электродинамики находят законы и формулы релятивистской динамики, квантовой механики. Ввиду сложности строения атомного ядра как системы, состоящей из значительного числа нуклонов, при изучении ядра используются специальные модели. Среди них капельная модель ядра, оболочечная модель и др.

Изучение ядерной физики в школе существенно не только из-за её практических приложений, но и потому, что в этом разделе расширяются наши представления о фундаментальных силах природы, о глубинных законах строения материи. При изучении строения ядра человеку открывается новый мир физических объектов — мир элементарных частиц.

При построении учебного процесса рационально реализовать системный подход в отборе содержания уроков. Поэтому сначала изучают атомное ядро как физическую систему с определённым составом и взаимодействием элементов, затем рассматривают различные процессы — ядерные реакции. При этом параллельно рассматривают характеристики объектов и явлений, изучают экспериментальные средства их определения. В самом конце темы изучают практические следствия. Предлагаемый вариант планирования достаточно экономный, но всё же первый и второй уроки можно объединить. Проведение лабораторной работы программой предполагается, хотя она и не приведена в учебнике. В принципе после двух первых уроков далее содержание можно прямо планировать по логике учебника.

## Урок 1. Состав ядра. Ядерные силы

**Задачи урока:** изучить протонно-нейтронную модель ядра — основу всех выводов в школьном курсе о строении и свойствах ядра; ввести понятия о новых силах, существенно отличающихся от ранее известных учащимся.

### Ход урока

Урок можно провести в форме школьной лекции, дополнив рассказ учителя работой с учебником, таблицами.

#### I. Изложение нового материала.

Ранее было показано, что большая часть массы вещества сосредоточена в ядре — части атома очень малых размеров. Данный раздел посвящён изучению строения и свойств атомных ядер.

1. Что мы уже знаем о ядре? Размеры ядра, как это следует из опытов Резерфорда, имеют порядок  $r = 10^{-14} - 10^{-15}$  м. Заряд ядра положителен и равен  $Ze$ , где  $Z$  — порядковый номер элемента в таблице Менделеева, а  $e = 1,602189 \cdot 10^{-19}$  Кл — положительный заряд, по абсолютному значению равный заряду электрона.

Какова же форма ядра атома? В настоящее время установлено, что форма ядер всех элементов близка к сферической, хотя бывают и слегка вытянутые или сплюснутые ядра.

Известны и массы ядер. Для определения массы ядра из массы атома надо вычесть массу электронов:

$$M_{\text{я}} = m_{\text{а}} - Zm_{\text{э}}.$$

2. Наблюдается важная закономерность: масса любого ядра превышает массу ядра водорода приблизительно в целое число раз. Так, масса ядра гелия почти в четыре раза больше массы ядра водорода, масса ядра урана почти в 238 раз больше, и так для всех ядер. Можно предположить, что ядра многоэлектронных атомов состоят из ядер атомов водорода. Так ли это? Так или иначе, но после открытия атомного ядра встал вопрос о его строении.

В 1919 г. Э. Резерфорд, продолжая изучение ядер вещества, обнаружил среди частиц, выбитых из атомного ядра, частицу с единичным положительным зарядом и массой, равной массе ядра водорода. Она была названа **протоном**. Это подтверждает предположение, что ядро водорода входит в состав других ядер. Ядро водорода — это один протон. В ядро гелия должно входить два протона, так как заряд ядра гелия  $Z = 2$ . Вообще число протонов в ядре должно быть равно заряду ядра  $Z$ , совпадающему с порядковым номером элемента в периодической таблице Менделеева.

Кроме протонов в ядрах всех атомов, за исключением водорода, должны быть ещё какие-то частицы, так как массы ядер больше чем  $Zm_p$ . В самом деле, ядро гелия имеет заряд, в два раза больший заряда протона, а масса ядра гелия почти в четыре раза больше массы протона. Из какого же числа протонов состоит ядро гелия — из двух или из четырёх? Решение этого вопроса сначала привело учёных к протонно-электронной модели атома. Согласно этой модели ядро атома гелия состоит из четырёх протонов и двух электронов, находящихся внутри ядра, так что общий заряд ядра оказывается равным  $4e - 2e = 2e$ .

В дальнейшем выяснилось, что электронов в ядрах атомов вещества нет, они не могут входить в состав такой малой по размерам системы, как ядро, в силу своих волновых свойств.

3. В 1932 г. ученик Резерфорда английский физик Д. Чедвик открыл новую элементарную частицу. Она оказалась нейтраль-

ной и очень близкой по массе к протону. Назвали её **нейтроном**. В том же году советским физиком Д. Д. Иваненко и немецким физиком В. Гейзенбергом была предложена **протонно-нейтронная модель** ядра.

Сумма числа протонов и числа нейтронов называется **массовым числом** и обозначается буквой  $A$ . Если обозначить число нейтронов  $N$ , то мы получим формулу, связывающую три числовые характеристики ядра:

$$A = Z + N.$$

Теперь понятно, почему масса ядра приблизительно в целое число раз превышает массу протона:

$$M_{\text{я}} \approx Am_p,$$

так как  $m_n \approx m_p$ .

С помощью таблицы периодической системы элементов можно определить число протонов и нейтронов для ядер нескольких элементов. Вводим обозначение ядра:



Ядра атомов элементов обозначаются той же буквой, что и сами эти элементы в химии, но дополнительно снабжаются индексами:  $Z$  — внизу,  $A$  — сверху.

Далее вводят понятие **изотопа**. Рассматривают изотопы водорода  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$  (дейтерий),  ${}^3_1\text{H}$  (тритий), изотопы урана  ${}^{238}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{235}_{92}\text{U}$  и другие изотопы.

4. Следующий этап изложения материала — знакомство с новыми фундаментальными силами — **ядерными**. Знания о ядерном взаимодействии систематизированы в таблице 43.

**II. Для закрепления изучаемых понятий на уроке предлагают задания.**

1. Определите плотность ядерного вещества.
2. Определите состав ядра углерода  ${}^{14}_6\text{C}$ .
3. Чем различаются ядра двух изотопов хлора с атомными массами 35 и 37?

**III. Домашнее задание:** § 78; упр. на с. 302 (ЕГЭ); упр. на с. 309 (1, 3).

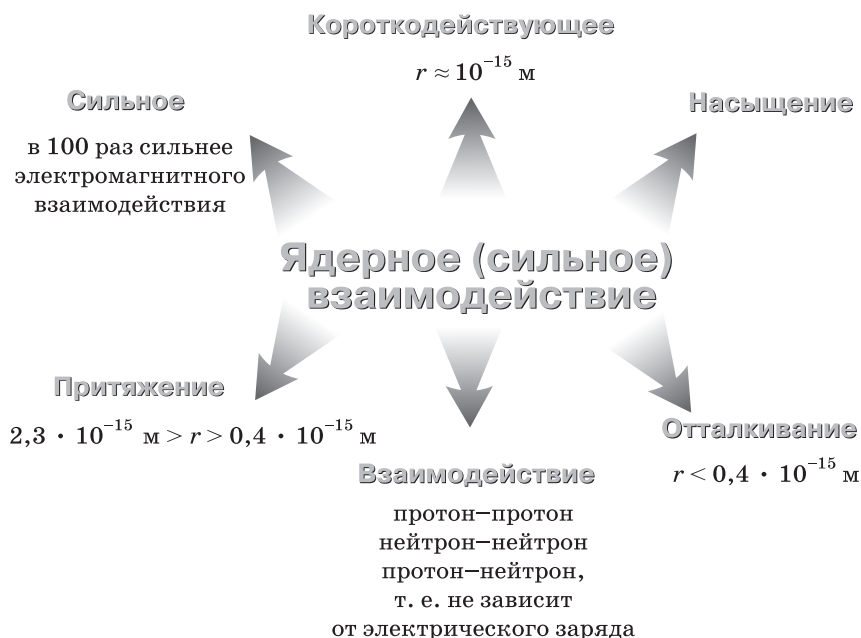
## Урок 2\*. Модель ядерного взаимодействия. Решение задач

После повторения материала предыдущего урока организуют работу с учебником: фронтальное повторение качественных вопросов, построение конспекта параграфа, запись уравнений реакций, выполнение блок-схем и др.

В заключение решают типичные задачи по выбору учителя.

**Домашнее задание:** § 79\*, 81\* (1, 2).





### Урок 3. Энергия связи атомных ядер

**Задачи урока:** изучить диаграмму энергии связи атомных ядер, лежащую в основе выводов о поглощении или выделении энергии в ядерных реакциях; сформировать умение определять энергию связи.

#### Ход урока

**I.** Перед изложением нового материала следует повторить основные положения теории протонно-нейтронной модели ядра.

**II.** Какова основная характеристика такой физической системы, как ядро, — основная *учебная проблема* урока.

**1.** Изложение нового материала начинается с сопоставления ядра как системы нуклонов с атомом — системой ядра и электронов. Вспоминаем об энергии связи электрона в атоме: это энергия, которую нужно сообщить электрону, чтобы оторвать его от атома. Например, для атома водорода она равна 13,6 эВ (из основного состояния). Энергия связи электронов в оболочках многоэлектронных атомов составляет десятки и сотни электрон-вольт.

**2.** Энергией связи ядра атома называется энергия, необходимая для полного разделения ядра на нуклоны. Будем обозначать её  $E_{\text{св}}$ .

Энергия связи, приходящаяся на один нуклон, называется **удельной энергией связи**. Будем обозначать её  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

Понятно, что чем больше энергия связи, тем прочнее ядро.

Ядра не изменяются при химических реакциях, при поглощении света атомами потому, что энергия связи их много больше энергии, сообщаемой атомам в этих процессах.

Оказалось, что удельные энергии связи нуклонов в различных ядрах имеют значения от 2 до 9 МэВ (1 МэВ =  $10^6$  эВ). Как же определить энергию связи? Формула для зависимости ядерных сил от расстояния точно неизвестна, неизвестно и точное расположение и движение нуклонов в ядре, поэтому рассчитать энергию связи ядра так, как это мы делали ранее для электрона в атоме, невозможно.

Зато благодаря большим энергиям связи можно для расчёта использовать формулу теории относительности:

$$E = mc^2,$$

где  $E$  — энергия покоя частицы, а  $m$  — её масса покоя.

3. Как это сделать, рассмотрим на конкретном примере атома гелия. Протоны и нейтроны имеют массы

$$m_p \approx 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ кг},$$

$$m_n \approx 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ кг},$$

а масса ядра гелия

$$M_{\text{He}} \approx 6,64648 \cdot 10^{-27} \text{ кг},$$

т. е. меньше суммы масс двух протонов и двух нейтронов на значение

$$\Delta m = 2m_p + 2m_n - M_{\text{He}} = 0,04872 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Эта разность называется **дефектом масс**. С её помощью по формуле взаимосвязи массы и энергии вычисляем энергию связи:

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m.$$

Для гелия приближённо получаем

$$\begin{aligned} E_{\text{св}} &= 0,04872 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (299\,792 \cdot 10^3 \text{ м/с})^2 \approx \\ &\approx 4,3787 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Осталось перевести это значение энергии в электронвольты:

$$\begin{aligned} E_{\text{св}} &= 4,3787 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} : 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ} \approx \\ &\approx 2,73296 \cdot 10^7 \text{ эВ} = 27,3 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

На один нуклон приходится энергия

$$\varepsilon_{\text{He}} = \frac{E_{\text{св}}}{4} \approx 7 \text{ МэВ}.$$

Такова удельная энергия связи ядра гелия.

Масса ядра гелия меньше суммы масс входящих в него нуклонов потому, что при соединении нуклонов в ядро ядерные силы притяжения совершают работу, при этом выделяется энергия взаимодействия, равная энергии связи. Она «уносит» часть массы покоя нуклонов. Если потребуются разъединить нуклоны ядра, то нужно затратить энергию, равную энергии связи (совершить работу против ядерных сил), восполнив тем самым энергию покоя и массы нуклонов до прежнего значения.

Энергия связи по изменённой массе ядра и известным массам протона и нейтрона рассчитывается для любого элемента по формуле

$$E_{\text{св}} = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2.$$

Измерения и расчёты проведены для всех элементов. Результаты этой большой работы учёных-физиков обобщены графически, построена диаграмма удельных энергий связи (рис. 12.1 учебника). С помощью этой важной диаграммы можно определить энергии всех ядерных превращений.

4. Оценим сначала по энергии связи значения ядерных сил, сравнивая их с электрическими. В теории атома рассматривалась формула энергии взаимодействия двух электрических зарядов. Она оказалась обратно пропорциональной расстоянию между зарядами. В электронной оболочке энергия связи порядка 10 эВ при расстоянии электрона от ядра  $10^{-10}$  м. Если перейти к расстоянию порядка  $10^{-14}$  м, то энергия связи увеличится в  $10^4$  раз и будет порядка  $10^5$  эВ.

Энергия же связи нуклонов в ядре, обусловленная действием ядерных сил, порядка 10 МэВ =  $10^7$  эВ, т. е. в 100 раз больше. Значения ядерных сил считают превышающими значения электромагнитных в 100 раз.

5. Рассмотрим с помощью диаграммы (рис. 137), что произойдёт, если удастся соединить лёгкие ядра (начало периодической таблицы) и получить из них более тяжёлые. Поскольку энергия связи у ядер железа и близких к нему элементов наибольшая ( $\approx 9$  МэВ), то при соединении ядер с меньшим числом нуклонов в ядра с большим числом нуклонов получим выделение энергии в несколько мегаэлектронвольт на каждый нуклон. (Заметим, что в пересчёте

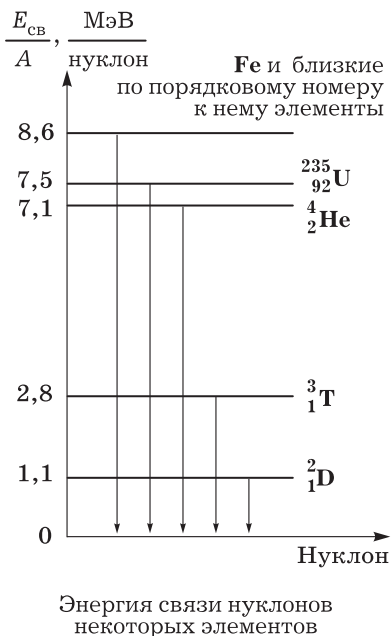


Рис. 137

на макроскопическое количество вещества это очень большие энергии, так как атомы малы и в веществе их очень много.)

В качестве примера такого выделения энергии можно назвать реакцию соединения четырёх ядер водорода в ядро гелия (два протона при этом превращаются в нейтроны) с выделением энергии, как мы подсчитали, около 6,8 МэВ на один нуклон или около 27 МэВ на одно ядро образовавшегося гелия.

Другая возможность высвобождения ядерной энергии заключается в делении ядер элементов, находящихся в конце периодической таблицы. Из диаграммы видно, что если удастся разделить ядро урана на два ядра элементов, находящихся в середине таблицы, то на каждый нуклон высвободится энергии около 1 МэВ, всего на ядро урана около 200 МэВ.

Как реакции соединения ядер, так и реакции деления осуществлены человеком в наше время и используются для получения энергии.

**III. Задачи на энергию связи** могут быть составлены на основе диаграммы и справочных данных о ядрах.

1. Чему равна энергия связи ядра дейтерия — изотопа водорода  ${}^2_1\text{H}$  (тяжёлый водород)? Масса ядра дейтерия  $3,34456 \cdot 10^{-27}$  кг.
2. Работа по разделению молекулы воды на водород и кислород приблизительно равна 5 эВ. Оцените, во сколько раз атомные ядра прочнее молекулы воды.
3. Быстролетающий нейтрон проникает в ядро. Изменится ли при этом энергия связи ядра?
4. Рассчитайте энергию, выделяющуюся при превращении 1 г водорода в гелий.
5. Рассчитайте энергию, выделяющуюся при делении 1 г урана.

**IV. Домашнее задание:** § 80, 81\* (3–5); упр. на с. 307 (ЕГЭ); упр. на с. 309 (4).

## Урок 4. Ядерные реакции

**Задачи урока:** ознакомить учащихся с ядерными реакциями, с процессами изменения атомных ядер и превращения одних ядер в другие под действием микрочастиц; подчеркнуть, что это отнюдь не химические реакции соединения и разъединения атомов элементов между собой, затрагивающие только электронные оболочки, а перестройка ядер как систем нуклонов, превращение одних химических элементов в другие.

### Ход урока

**I. Вопросы** для организации повторения: каков состав атомных ядер? Что понимают под энергией связи атомного ядра? Почему масса ядра не равна сумме масс протонов и нейтронов, входящих в него? Как объяснить стабильность атомных ядер? Как определить энергию связи атомного ядра?

При ответах на вопросы изученные формулы записывают на доске.

**II. Какие явления происходят с атомными ядрами — учебная проблема урока.**

1. Изложение нового материала учитель начинает, обращая внимание учащихся на различия ядер атомов разных элементов: так как ядра состоят из различного числа протонов и нейтронов, то они имеют разные массы, электрические заряды, размеры, энергию связи. Всего с изотопами известно около 2000 разных ядер, называемых **нуклидами**. Но все ядра состоят из одних и тех же частиц — нейтронов и протонов. Изменяя их число в некотором ядре, добавляя или удаляя нуклоны, можно получить другое ядро.

Однако если химические реакции были известны и используются с незапамятных времён, то самопроизвольные ядерные превращения открыли только в самом конце XIX в., а искусственные ядерные реакции были осуществлены только в XX в. Это объясняется очень высокой устойчивостью ядер из-за большой энергии связи: перестраиваться ядро будет лишь тогда, когда внешние воздействия принесут ему энергию, сравнимую с энергией связи.

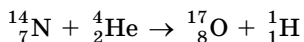
2. Явления взаимодействия ядер с элементарными частицами или другими ядрами, при которых ядро изменяет свой состав и свойства, получили название **ядерных реакций**. Существуют разнообразные ядерные реакции. Таблица 44 даёт представление об их классификации. В верхней части таблицы представлены два класса реакций, различающихся механизмом. В нижней части реакции подразделяются по объектам взаимодействия и результатам. (Учащимся можно рекомендовать для чтения статью И. С. Шапиро «Механизм ядерных реакций» — см. [26].)

3. После общего знакомства с ядерными реакциями учитель ставит перед учащимися следующую задачу: изучить конкретные реакции, их запись с помощью уравнений и законы протекания.

Первую ядерную реакцию осуществил Э. Резерфорд в 1919 г. Альфа-частицы с энергией 7,68 МэВ, испускавшиеся ядрами по-

лония  ${}_{84}^{214}\text{Po}$ , взаимодействовали с ядрами азота  ${}_{7}^{14}\text{N}$ . В результате получились ядра кислорода  ${}_{8}^{17}\text{O}$  и протоны.

4. В ядерных реакциях выполняются **закон сохранения заряда** и **закон сохранения числа нуклонов** — массового числа А. Эти законы помогают записать символические равенства, обозначающие ядерные реакции. Реакцию, которую наблюдал Резерфорд, записывают так:



Чтобы ядерная реакция происходила, нужно сблизить между собой два разных ядра или приблизить к ядру некоторую микро-частицу на расстояние, при котором действуют ядерные силы, т. е. сблизить их до  $10^{-15}$  м. Для этого приходится преодолевать



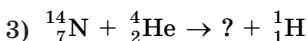
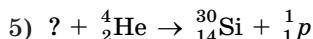
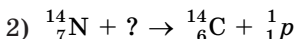
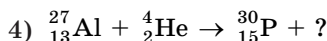
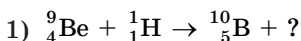
значительное электростатическое отталкивание одноимённо заряженных ядер. Следовательно, частица, вызывающая реакцию, должна обладать значительной энергией, т. е. быстро двигаться.

5. Первые открытые реакции были вызваны частицами, выбрасываемыми при самопроизвольном распаде ядер урана, радия, полония. В настоящее время для получения ядерных реакций используют специально построенные **ускорители элементарных частиц**. В этих сложных технических сооружениях и приборах заряженные частицы разгоняются в электромагнитном поле и направляются на ядра-мишени. Ряд важных реакций происходит под действием электронейтральных нейтронов. Их получают в установках, называемых **ядерными реакторами** (будут изучаться далее). Нейтроны не отталкиваются ядрами, поэтому

реакции вызывают как быстрые, так и медленные нейтроны, т. е. движущиеся со сравнительно малыми скоростями.

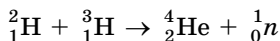
Изучение ядерных реакций привело не только к пониманию законов строения ядра, но и к открытию ряда элементарных частиц. С помощью приведённой выше реакции установили, что в состав ядра входит протон. В другой ядерной реакции был открыт нейтрон (с. 330 учебника).

**III.** Для закрепления и углубления знаний решают задачи. Например, дописать ядерные реакции:



Задачи на расчёт энергии ядерных реакций решают с помощью Справочника, в котором массы ядер даны в атомных единицах массы, причём  $1 \text{ а. е. м.} = 1,660565 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ , что соответствует энергии 931,5016 МэВ.

Решение задач целесообразно выполнять в атомных единицах, переводя результат в мегаэлектронвольты, а для больших значений энергии — в джоули. Например, для реакции



имеем

$$M_{\text{трития}} + M_{\text{дейтерия}} = 6,030151 \text{ а. е. м.},$$

$$M_{\text{гелия}} + m_{\text{n}} = 5,011268 \text{ а. е. м.}$$

Отсюда дефект масс 0,018883 а. е. м., что соответствует 17,6 МэВ. Рассмотренная в примере реакция относится к **реакциям ядерного синтеза**.

**IV.** Вопросы для организации повторения: какие явления называются ядерными реакциями? Каковы виды ядерных реакций? Каковы законы ядерных реакций?

*Домашнее задание:* § 87; упр. на с. 309 (ЕГЭ); упр. на с. 343 (1); упр. на с. 331 (ЕГЭ).

## Урок 5. Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц

На предыдущих уроках был изучен теоретический материал, относящийся к протонно-нейтронной модели ядра и вытекающим из неё следствиям. Экспериментальные методы изучения ядра оставались в тени, хотя на опыт, приводящий к открытию тех или иных частиц, ссылки делались. Однако далее использование результатов эксперимента необходимо в большей мере.

Материал на уроке изучается в основном описательный: рассказ учителя следует дополнить демонстрацией *опыта* (ДЭ-2, с. 262—263), работой с рисунками учебника, таблицей 45.

Примеры задач для решения на уроке.



Рис. 139

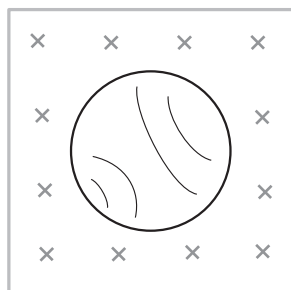


Рис. 140

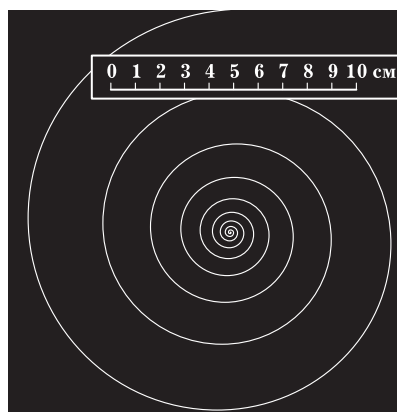


Рис. 138



1. Почему трек электрона в однородном магнитном поле в пузырьковой камере имеет вид спирали (рис. 138)?
2. Какая из частиц, оставивших следы в камере, обладала большей энергией (рис. 139)?
3. П., № 841, 852.
4. Охарактеризуйте частицы по их трекам (рис. 140).
5. Сколько ионов образует альфа-частица, вылетевшая из ядра изотопа радия с энергией 9,657 МэВ, если на образование одной пары ионов необходимо 35 эВ?
6. Почему нейтрон был открыт значительно позднее протона и электрона?

*Домашнее задание:* § 86\*; П., № 853.

## **Урок 6\*. Лабораторная работа «Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям». Решение задач**

Выполнение *лабораторной работы* возможно на основе известного дидактического материала (см.: С к р е л и н Л. И. Дидактический материал по физике. 10 класс. — М.: Просвещение, 1977) или на основе самостоятельно разработанной учителем инструкции.

В качестве контрольных заданий по лабораторной работе следует использовать задачи и вопросы по расшифровке треков различных частиц.

*Домашнее задание:* П., № 847; упр. на с. 309 (5, 6).

## **Урок 7. Радиоактивность**

В истории развития физики именно открытие явления радиоактивности послужило мощным толчком к изучению строения и атома, и атомного ядра: исследования распадов дали первые сведения о сложном строении атома и ядра и первые средства для их зондирования (опыты Резерфорда с альфа-частицами).

Мы уже ссылались на радиоактивный распад с целью подвести учащихся к выводу о сложной структуре ядра. Теперь подробнее изучим это явление. Урок можно провести в форме школьной лекции с элементами беседы, включая и другие методы и приёмы работы.

1. Учитель знакомит класс с планом работы на уроке.

2. Ученики записывают в тетрадях содержание рассказа учителя в виде тезисов. (1896 г. Л. Беккерель. Самопроизвольное излучение урана. Радиоактивность тория, полония, радия. Состав излучений:  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучения. Независимость радиоактивного излучения от внешних условий. Выделение энергии. При подведении итогов можно по учебнику процитировать слова Резерфорда.)

3. Ученик рассказывает о жизни и работе Марии Склодовской-Кюри. При подготовке можно использовать книгу её дочери Е. К ю р и «Мария Кюри» (М.: Атомиздат, 1976), в которой приведены фотографии, письма и другие биографические материалы.

4. Изучается правило смещения.

В конце урока, подчёркивая важность открытия радиоактивности, учитель сообщает учащимся, что за исследования этого явления в разные годы было присуждено более десяти Нобелевских премий.

*Домашнее задание:* § 82—84; упр. на с. 317 (ЕГЭ); упр. на с. 322 (1); П., № 837.

## Урок 8. Закон радиоактивного распада. Решение задач

### Ход урока

I. Повторение, кроме актуализации знаний, нацелено на формирование умений и навыков, необходимых для решения задач. Учитель вовлекает в работу весь класс: для этого предлагает дополнять ответы вызванных учащихся, комментировать с мест решение задачи на доске и т. д.

Примерные *вопросы и задачи* для повторения.

1. В чём состоит явление радиоактивного распада? (Какова его причина? Каков состав радиоактивного излучения? Каковы его свойства? Можно ли считать радиоактивный распад ядра ядерной реакцией? В чём состоит при радиоактивном распаде проявление закона сохранения энергии?)
2. Сколько альфа- и бета-превращений испытывает уран  $^{238}_{92}\text{U}$  при превращении в свинец  $^{206}_{82}\text{Pb}$ ?
3. Энергии покоя трития и гелия-3 соответственно равны 2805,205 МэВ и 2804,676 МэВ. Энергия покоя электрона 0,511 МэВ. Разрешён ли законом сохранения энергии бета-распад трития, и если он происходит, то какова энергия выделяющихся электронов? (Идёт процесс:  $^3_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + \bar{e} + \nu$ .)

II. При изложении нового материала учитель может ориентироваться на содержание учебника.

III. С конкретными значениями периодов полураспада различных веществ учащиеся знакомятся по Справочнику. При работе с таблицей обсуждают *вопросы и решают задачи*.

1. Было взято  $10^6$  ядер атомов фосфора  $^{30}_{15}\text{P}$ . Через какое время останется половина ядер атомов? четвёртая часть ядер?
2. Было взято  $10^6$  ядер атомов калия  $^{42}_{19}\text{K}$  и  $10^3$  ядер атомов углерода  $^{14}_6\text{C}$ . Ядер какого вещества останется больше через 10 сут? При расчёте используйте микрокалькулятор (компьютер).

Далее отработка нового материала продолжается по учебнику — *самостоятельная работа* учащихся с графиком (рис. 12.5). Можно дать специально изготовленные графики каждому ученику. Обсуждают *вопросы*: каков период полураспада вещества? Сколько вещества распалось за время, равное полупериоду? за время, равное двум полупериодам? Как изменится активность (число распадов в секунду) через промежуток времени, равный периоду полураспада? За какое время распадётся всё вещество?

На уроке (или дома) полезно решить вызывающую интерес учащихся задачу на определение возраста ископаемых останков древних животных и растений с помощью так называемого **радиоактивного метода**. Кратко поясняется суть метода. Все живые организмы вместе с обычным углеродом  $^{12}_6\text{C}$  усваивают не большое количество радиоактивного углерода  $^{14}_6\text{C}$ . Причём содержание радиоактивного углерода в воздухе в течение тысячелетий постоянно. После гибели живого организма, например дерева, прекращается накопление ядер  $^{14}_6\text{C}$ , а продолжается лишь их распад. Зная период полураспада углерода  $^{14}_6\text{C}$ , закон радиоактивного распада, процентное содержание радиоактивных ядер при жизни организма и измеряя его на момент обнаружения, можно рассчитать возраст останков. **З а д а ч а:**

Определите возраст деревянного изделия, если на момент исследования в нём осталось 50% радиоактивных ядер C от их нормального содержания. Период полураспада 5600 лет.

**IV. Домашнее задание:** § 82—84; упр. на с. 320 (ЕГЭ).

## Урок 9. Искусственная радиоактивность. Получение и использование радиоактивных изотопов

### Ход урока

**I.** Повторение теории и домашних задач.

**II.** Содержание изучаемого материала достаточно традиционно. Много прикладного материала помещено в известной книге К. Н. Мухина [15].

**III.** Примеры **з а д а ч** для решения в классе и дома.

1. Имеется радиоактивная медь (искусственная радиоактивность) с периодом полураспада 10 мин. Какая часть ядер первоначального вещества останется через 30 мин? 2 ч?
2. Период полураспада изотопа  $^{210}_{83}\text{Bi}$  2 сут. Какая часть ядер данного вещества останется через 15 сут?
3. Активность радиоактивного вещества уменьшилась в четыре раза за 8 сут. Определите период полураспада.
4. Сколько процентов радиоактивного железа  $^{59}_{26}\text{Fe}$  останется через месяц, если его период полураспада 45 сут?

5. Радиоактивный углерод  $^{14}_6\text{C}$ , введённый при обследовании в организм человека, даёт 2500 распадов в секунду. Определите количество введённого радиоактивного углерода.
6. Для исследования обмена веществ и определения скорости кровотока используют радионуклид натрий-24. Определите период его полураспада и постоянную распада, если через 30 ч его активность составляет 25% от прежней.
7. Имеется  $2,5 \cdot 10^7$  атомов радия. Сколько их останется через год, если период полураспада радия равен 1620 лет?

*Домашнее задание:* § 87, 93\*; упр. на с. 331 (ЕГЭ); индивидуально — отрывок из статьи Ф. и И. Жолио-Кюри «Новый вид радиоактивности» (Хрестоматия, с. 202—204).

## Урок 10. Деление ядер. Цепная реакция деления

В начале урока (8—10 мин) повторяют домашнее задание, затем по логике учебника рассматривают новый материал (явление деления ядер, механизм деления, описание явления явления законами сохранения и др.), в конце урока (10 мин) фронтально повторяют главное, решают качественные задачи. Для обобщения знаний используют таблицу 46.

*Домашнее задание:* § 88; упр. на с. 336 (ЕГЭ); индивидуально — П., № 840, 856.

Таблица 46

Тип радиоактивного превращения	Изменение заряда	Изменение массового числа	Процесс
Альфа-распад	$Z - 2$	$A - 4$	Вылет $\alpha$ -частицы — системы двух протонов и двух нейтронов, соединённых вместе
Бета-распад	$Z \pm 1$	$A$	Взаимные превращения в ядре нейтрона $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 n \end{pmatrix}$ и протона $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 p \end{pmatrix}$
$\beta^-$ -распад	$Z + 1$		${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + \left( {}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}_e \right)$
$\beta^+$ -распад	$Z - 1$		${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + \left( {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu_e \right)$
Электронный захват ( $e^-$ или $K$ -захват)	$Z - 1$		${}^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + \left( {}^0_0\nu_e \right)$ ${}^0_0\nu_e, {}^0_0\bar{\nu}_e$ — электронные нейтрино и антинейтрино. В скобках указаны частицы, вылетающие из ядра

Тип радиоактивного превращения	Изменение заряда	Изменение массового числа	Процесс
Спонтанное деление	$Z - Z/2$	$A - A/2$	Деление ядра обычно на два ядра-осколка, имеющие приблизительно равные массы и заряды

## Урок 11. Ядерный реактор. Атомная электростанция. Понятие о термоядерных реакциях

**Задачи урока:** изучить принципы устройства и работы атомных реакторов; рассмотреть особенности цепной ядерной реакции; познакомить с термоядерными реакциями.

**I. Решение одной из домашних задач повторяется с кратким комментарием на доске. Во время подготовки решения организуется фронтальное повторение по вопросам:** чем характерна реакция деления ядер атомов? Почему происходит реакция деления ядер урана? Как возникает цепная реакция деления урана? Можно ли управлять цепной ядерной реакцией деления?

**II. Примерный план изложения нового материала.**

1. Устройство ядерного реактора (тепловыделяющие элементы, замедлитель нейтронов, поглотители нейтронов, теплоноситель, защитная оболочка).

2. Работа ядерного реактора (управление цепной ядерной реакцией, отвод тепла и т. д.).

3. Классификация реакторов: по назначению (экспериментальные, исследовательские, изотопные, энергетические), по виду топлива (естественный уран, слабообогащённый уран, плутоний и др.), по виду теплоносителя (вода, газ, металлы), по роду замедлителя (вода, углерод, бериллий, без замедлителя), реакторы-размножители.

4. Направления использования ядерных реакторов и ядерной энергии: получение электроэнергии, получение изотопов, технологическое применение (выработка тепла, опреснение воды и др.).

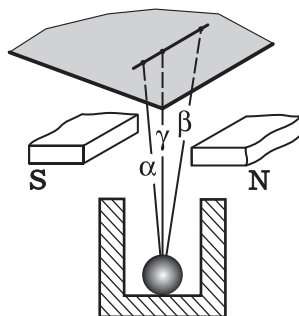
Записанным учащимися планом можно разрешать пользоваться при ответе.

Краткий рассказ о И. В. Курчатове можно завершить яркой цитатой: «Он предстаёт перед нами как организатор науки большого, невиданного в довоенное время масштаба. Курчатов полон неистощимой энергии. Сверкающий его взгляд одинаково быстр и ясен и утром, и глубокой ночью. Окружающие изнемогают от «курчатовского» темпа работы, он же не проявляет признаков утомления. Он доступен для всех. К нему идут за помощью и за советом. Его реакция мгновенна. Он привлекает всех, кто способен работать... создаёт вокруг себя атмосферу восторженного твор-

# Ядерные реакции

## Факты

- Радиоактивность.
- Сложный состав атома, ядра
- Экспериментальные методы исследования (камера Вильсона, счётчик Гейгера, фотоэмульсии и др.) и их результаты
- Общефизические величины и законы



## Модель

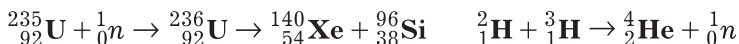
- Модели ядер: протонно-нейтронная, капельная, оболочечная и др.
- Типы взаимодействий: сильное и слабое
- Виды и механизмы реакций

Под действием частиц  $p$ ,  $n$  и др.:



Деление ядер:

Синтез ядер:



- Законы сохранения заряда  $q$ , массового числа  $A$ , энергии  $E$ ; формула Эйнштейна  $E = mc^2$

## Следствия. Применения

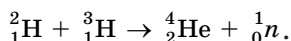
- Получение изотопов, закономерности поведения изотопов — меченые атомы и др.
- Объяснение радиоактивности и других явлений
- Управление ядерными реакциями на основе знаний (ядерное оружие, атомные электростанции, термоядерный синтез и др.)

ческого труда, требуя от каждого бескорыстного служения делу» (Головин И. Н. И. В. Курчатов. — М.: Атомиздат, 1972. — С. 60—61).

В итоге этого этапа урока обсуждают *вопросы*: как осуществить цепную реакцию? В чём принципиальное различие реакторов на медленных и быстрых нейтронах? Почему реакторы на быстрых нейтронах называют реакторами-размножителями? Как осуществляется управление цепной ядерной реакцией?

**III.** Учащихся кратко знакомят с другим методом высвобождения ядерной энергии — при реакциях слияния лёгких ядер. Подобные реакции слияния лёгких ядер получили название **термоядерных реакций**.

Обратимся к наиболее перспективной термоядерной реакции



Выделяющуюся при реакции энергию рассчитываем так: по Справочнику определяем энергию связи дейтерия 2,22 МэВ, трития 8,48 МэВ, гелия 28,29 МэВ. Получаем, что при образовании гелия выделяется энергия

$$28,29 \text{ МэВ} - (8,48 \text{ МэВ} + 2,22 \text{ МэВ}) = 17,6 \text{ МэВ}.$$

На один нуклон приходится около 3,5 МэВ. Для сравнения скажем, что при ядерной реакции деления урана выделяется энергия около 1 МэВ на один нуклон. Таким образом, удельный выход энергии при этой термоядерной реакции в три с лишним раза больше, чем при делении урана.

Далее могут быть рассмотрены вопросы: термоядерные реакции на Солнце и звёздах; термоядерная бомба; перспективы получения энергии для мирного использования с помощью термоядерных реакций.

**IV. Домашнее задание:** § 89\*, 90, 92; упр. на с. 339 (ЕГЭ); индивидуально — одна из следующих задач:

1. Атомная подводная лодка постоянно потребляет мощность  $6 \cdot 10^4$  кВт. Сколько урана  ${}^{235}_{92}\text{U}$  расходуется на борту этой лодки за сутки?
2. Определите массу угля, который даёт при сжигании ту же энергию, что и уран  ${}^{235}_{92}\text{U}$  массой 10 г. При делении ядра урана выделяется энергия, примерно равная 200 МэВ. (Недостающие данные возьмите из Справочника.)
3. Определите электрическую мощность атомной электростанции, если она расходует в сутки 200 г урана  ${}^{235}_{92}\text{U}$  при КПД, равном 25%.

В конце урока обобщают знания о ядерных реакциях (табл. 47).

## Урок 12\*. Решение задач

*Домашнее задание:* § 91\*; упр. на с. 343 (2, 4, ЕГЭ).

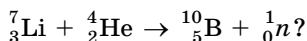
## Урок 13. Биологическое действие радиоактивных излучений

### Ход урока

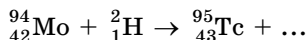
I. Повторение пройденного материала (полностью или частично) может быть проведено в виде письменной самостоятельной работы с использованием учебника.

Примеры заданий.

1. Выделяется или поглощается энергия при следующей реакции:



2. Радиоактивный изотоп технеция, не обнаруженный в природе, был получен искусственно в результате ядерной реакции



Какая частица при этом образовалась?

3. Почему хранение природного урана не связано с опасностью взрыва?
4. Как осуществляют практически цепную ядерную реакцию деления?

II. Приведём план изучения нового материала.

1. Действие излучения на живые организмы: ионизация молекул, а отсюда изменение клетки — разрушение хромосом, нарушение способности к делению, изменение проницаемости клеточных мембран и др.

2. Характеристика действия излучений:  $D$  — поглощённая доза излучения, её единица — 1 Гр (один грэй). Измерение поглощённой дозы излучения  $D$ . Факторы, влияющие на результат действия излучения: а) защита; б) вид излучения, его энергетический спектр, доза, время действия; в) область поражения.

3. Различные дозы излучения и их последствия. Примеры. Так, естественные источники радиоактивного излучения (космические лучи, радиоактивность почвы, воды, человек и др.) дают дозу  $4 \cdot 10^{-4}$  —  $20 \cdot 10^{-4}$  Гр в год. Много это или мало? Если человек за короткое время получит дозу 4—5 Гр, то возможен смертельный исход. Но такая же доза, полученная в течение длительного времени, не приводит к каким-либо последствиям. В Лондоне, например, доза облучения от естественного окружения составляет около  $7 \cdot 10^{-4}$  Гр в год, от медицинских рентгеновских установок мы получаем дозу порядка  $3 \cdot 10^{-4}$  Гр, при длительном полёте на самолёте —  $3 \cdot 10^{-5}$  Гр и т. д.

4. Защита от радиоактивных излучений: удаление радионуклидов, убежища, индивидуальные средства защиты. Профилактика.

5. Задача для повторения.

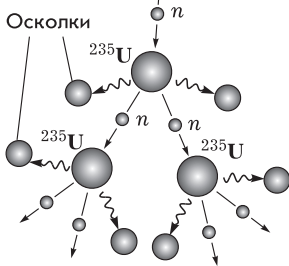
Сколько времени должно пройти, чтобы радиоактивное загрязнение стронцием-90 с периодом полураспада 28 лет уменьшилось в 10 раз?

III. Домашнее задание: § 94\*; П., № 859, 860.

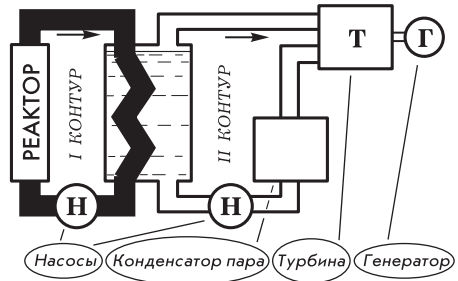


## Атомная энергетика

### Принцип— ядерная реакция



### Схема атомной электростанции



### АЭС

#### Получение изотопов

#### Выработка тепла

#### Преимущества

- Экономия органического топлива
- Малые массы горючего
- Получение большой мощности с одного реактора
- Невысокая себестоимость энергии

#### Проблемы

- Безопасность реактора
- Радиоактивные отходы
- Особенности ремонта
- Высокая квалификация и ответственность кадров

## Урок 14. Успехи, перспективы и проблемы развития ядерной энергетики

Задачи урока ясны из его названия. Урок имеет большое воспитательное значение. На нём поднимаются и раскрываются проблемы борьбы за мир, за разоружение, экологические проблемы. Показ сложностей технической реализации достижений современной физической науки и в то же время грандиозных успехов и перспектив их практического применения содействует формированию у учащихся научного мировоззрения.

Урок можно построить в форме конференции. Примерные темы выступлений учащихся:

1. История развития ядерной энергетики в СССР.
2. Состояние ядерной энергетики в России.
3. Проблемы и перспективы развития ядерной энергетики (в России и за рубежом).
4. Значение ядерной физики для народного хозяйства.

К уроку подготавливается выставка книг в кабинете или библиотеке, используются предыдущие и новые таблицы (табл. 48), государственные документы (цитаты из них, материалы периодической печати).

*Домашнее задание:* § 92—94\*; для индивидуального решения предлагается з а д а ч а.

За первый день радиоактивный радон массой 0,1 мг испускает  $4,3 \cdot 10^{16}$  частиц. В последующие дни были получены такие результаты активности (в процентах от первоначальной):

День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Проценты	100	84	70	59	49	41	34	27	24	20

Постройте график зависимости активности от времени. По графику определите: какая доля радона распадается за сутки? Через сколько дней распадётся половина радона? Сколько за это время будет выделено частиц?

## Урок 15. Повторение. Решение задач (резерв учителя)

## Урок 16\*. Контрольная работа (зачёт)

# Глава XIV. ОБОБЩЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

В конце изучения курса физики планируют и проводят обобщения — знакомят школьников с современной физической картиной мира. Отчасти обобщения делаются и при повторении материала. Важно и то, что потребность в генерализации знаний и приёмов деятельности всё время растёт. Вот почему ряд уроков в конце курса можно объединить названной темой.

При построении учебного процесса рекомендуется смелее читать классические лекции, организовывать доклады школьников, вести диалоги, знакомить с современной литературой по физике, т. е. строить нестандартные уроки. Понимание мировоззренческой и технологической значимости физики должно остаться у учеников и после окончания школы.

## Урок 1. Физический мир и его познание

Урок строится как школьная лекция с элементами беседы. Ниже приводится развёрнутый план занятия. На урок жела-

тельно подобрать фрагмент видеофильма, хорошие слайды или таблицы.

**1. Физический мир.** По мере развития цивилизации происходило расширение мира физических знаний: в него входили новые области пространства с новыми объектами и явлениями. Например... (В таблице 49 определены эти области.)

Таблица 49

Область пространства, м	Типичные объекты	Типичные явления	Область знания
Мегами́р $10^{18}—10^{25}$	Галактики, метagalактики, гравитационные и электромагнитные поля	Механическое движение	Астрофизика. Общая теория относительности
Макроми́р $10^{-8}—10^{18}$	Несколько групп разных объектов: а) звёзды, планеты; б) тела и макро-частицы; в) молекулы, атомы; г) электромагнитное поле	а) Механическое движение; б) превращения жидкостей, газов, твёрдых тел; в) взаимодействие; г) электрический ток, свет, радиоволны	Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. СТО. Радиотехника, электротехника
Микроми́р $<10^{-8}$	Элементарные частицы; атомы, ядра атомов	Движение и взаимодействие элементарных частиц; ядерные реакции	Квантовая физика. СТО. Физика элементарных частиц

**2. Физические явления и их причины.** С опорой на таблицу 49 можно выделить и конкретизировать группы физических явлений, раскрыть их многообразие. Следует выделить: а) явления, выраженные в явном перемещении объектов в пространстве, — механическое движение и др.; б) явления, выраженные в изменении параметров системы, — нагревание газа. В итоге причиной всех явлений оказывается взаимодействие объектов.

**3. Познаваемость мира, средства познания.** Физика как наука всё время поступательно развивается. Можно выделить следующие характеристики этого развития: а) рост объёма знаний, создание новых и изменение старых систем знаний; б) усиление ведущей роли теоретических знаний; в) резкий рост прикладных физических знаний; г) абсолютность и относительность любого знания, модельный характер физических знаний и границы применимости знаний; д) усиление влияния научных знаний на практику.

Логику обучения лучше всего проиллюстрировать с помощью схемы: факты — модель — следствия.

Физический эксперимент: а) функции; б) развитие; в) примеры фундаментальных опытов. Из теоретических методов лучше всего остановиться на выделении моделирования, в частности на моделях объектов, которые изучались в школьном курсе физики.

**4. Новые открытия в физике.** Следует познакомить школьников с одним-двумя новыми открытиями, порекомендовать что-то из новых книг. Главная мысль — развитие физики продолжается.

*Домашнее задание:* самостоятельно изучить § 95.

## **Урок 2. Понятие об элементарных частицах. Классификация элементарных частиц**

**Задачи урока:** ознакомить с элементарными частицами как единственными представителями материи на уровне пространственных размеров и расстояний, меньших  $10^{-15}$  м; раскрыть общие свойства элементарных частиц и дать их классификацию.

### **Ход урока**

**I.** На протяжении изучения курса физики учащиеся не встречались с элементарными частицами. Уже на первой ступени изучались электроны; далее понятие электрона использовалось во многих случаях. В квантовой физике учащиеся узнали о протоне и нейтроне.

Для поддержания познавательной активности учащихся на уроке нужно обеспечить смену их деятельности, сочетать информационный материал (рассказ, сообщение) с репродуктивным (ответы на вопросы, самостоятельная работа с учебником) и проблемным (постановка проблем, выдвижение гипотез и т. д.). Для многократного применения вводимых понятий времени в курсе уже нет, поэтому следует больше связывать новое с ранее изученным.

**II.** Изложение нового материала. По мере углубления в строение вещества наука открыла молекулы, атомы, выяснила, что атом состоит из ядра и электронов, наконец, установила сложное строение ядра, в которое входят протоны и нейтроны.

Если рассматривать строение вещества с учётом этих сведений, то для микромира на уровне малых расстояний, порядка  $10^{-14}$ — $10^{-15}$  м, можно заключить, что вещество состоит из протонов, нейтронов и электронов. Материя представлена в природе не только веществом, но и электромагнитным полем. Электромагнитное поле также состоит из частиц — фотонов.

**1.** Микрочастицы — электроны, протоны, нейтроны, фотоны — называются **элементарными частицами**. Слово «элементарная» означает «простейшая, лежащая в основе материи»: все материальные объекты — тела, поля — состоят из этих частиц.

При введении этого термина предполагалось, что внутренняя структура у элементарных частиц отсутствует, т. е. они ни из чего не состоят. Сейчас понятие об элементарности уточнено, о чём будет сказано далее.

В настоящее время открыто более 400 микрочастиц, по размерам, массе, электрическому заряду (и некоторым другим свойствам) близких к перечисленным выше. Все они также называются элементарными.

2. Характерная особенность большинства элементарных частиц — их нестабильность. Все частицы, кроме фотонов в пустоте, электронов, протонов, нейтронов (в ядре) и нейтрино, самопроизвольно распадаются, превращаясь в конце концов в стабильные. Эти процессы подобны радиоактивному распаду ядер. Среднее время жизни нестабильных элементарных частиц чрезвычайно мало. Долгоживущими или относительно стабильными считаются частицы, время жизни которых  $10^{-6}$ — $10^{-14}$  с, а существуют и частицы, живущие всего  $10^{-22}$ — $10^{-23}$  с.

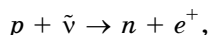
Нейтрон вне ядра также неустойчив: среднее время его жизни 16 мин, но по сравнению со временем жизни короткоживущих частиц это очень большой срок.

3. Понятно, что если Вселенная когда-то возникла, то за время её существования до наших дней все нестабильные элементарные частицы распались бы, превратились в стабильные или исчезли, отдав свою энергию тепловому движению стабильных частиц вещества. Откуда же берутся короткоживущие частицы? Их открыли и получают как в ядерных реакциях, так и в различных реакциях со стабильными элементарными частицами. Реакция происходит, когда одна элементарная частица сталкивается с другой или самопроизвольно распадается. В результате реакции образуются новые частицы, происходит **взаимное превращение частиц**.

В качестве примера реакции распада приведём следующую:

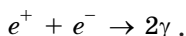


где нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино. Антинейтрино и нейтрино — это частицы с очень малой массой покоя, в тысячи раз меньшей самой лёгкой частицы — электрона. Они электронейтральны. Нейтрино — стабильная частица. Долгое время после теоретического предсказания действия нейтрино не удавалось зафиксировать на опыте. Наконец в 1956 г. была осуществлена реакция



в которой образовался нейтрон и положительно заряженный электрон — позитрон.

Позитрон обнаруживается в опыте, встречаясь с электроном, — он «исчезает» вместе с электроном:



Реакция называется **аннигиляцией** электронно-позитронной пары; в результате образуются два фотона, которые фиксируются специальными счётчиками.

Ещё одна присущая всем элементарным частицам особенность — наличие у каждой частицы двойника — **античастицы**. Если частица электрически заряжена, то античастица несёт противоположный по знаку заряд. Существуют античастицы и у незаряженных частиц. При встрече взаимодействие частицы и античастицы приводит к их аннигиляции, т. е. к исчезновению, превращению в фотоны или другие частицы.

В настоящее время античастицы обнаружены почти для всех известных частиц, в том числе получены антипротон и антиней-

Таблица 50

## Элементарные частицы

### Основные свойства

Нестабильность (стабильны фотон, электрон, протон, нейтрон)

Взаимодействие и взаимопревращаемость

Существование античастиц

Сложное строение большинства частиц

### Средства описания (изучения)

- теоретические

Законы сохранения

Принципы симметрии

Законы фундаментальных взаимодействий

Классификация частиц (фотон, лептоны, мезоны, барионы, кварки)

- экспериментальные

Ускорители

Камера Вильсона

Счётчики: Гейгера, Черенкова и др.

Пузырьковая камера

### Обобщение

Материя



фотоны + лептоны +  
+ кварки + гравитоны

трон. Получен даже атом, состоящий из античастиц, — антигелий, так что в принципе можно говорить о возможности существования антивещества. Соединение вещества с антивеществом должно привести к переходу вещества в поле, к аннигиляции вещества в рамках законов сохранения энергии, импульса, электрического заряда; при этом выделяется энергия, эквивалентная массе покоя  $mc^2$ .

4. Далее следует заполнить и расшифровать таблицу 50.

Обсуждаются размеры частиц. По современным данным, фотоны и лептоны не обнаруживают в опытах протяжённости и внутренней структуры. В этом отношении их можно отнести к истинно элементарным (первичным) частицам. Мезоны и барионы имеют размеры порядка  $10^{-15}$  м. Опыты по рассеянию на них электронов очень высокой энергии, подобные опытам Резерфорда, приводят к выводу о наличии внутренней структуры мезонов и барионов. Можно сказать, что они не элементарны, а состоят из субэлементарных частиц, получивших название «кварки».

Мы не затрагиваем при изучении элементарных частиц второе макроскопическое поле, существующее в природе, — гравитационное. Теоретически установлено, что на микроуровне оно состоит из квантов поля, называемых **гравитонами**. Это, как и фотоны, частицы без массы покоя и заряда. Однако гравитон экспериментально не обнаружен.

III. Домашнее задание: § 95—98\*.

### Урок 3. Движение и взаимодействие элементарных частиц

**Задачи урока:** ознакомить с типами фундаментальных взаимодействий, раскрывая их особенности и отличия друг от друга; дать представления о механизме и переносчиках взаимодействия; установить связь типов взаимодействий с классами элементарных частиц.

#### Ход урока

I. Учащиеся знают об основных (фундаментальных) силах природы: гравитационных и электромагнитных. При изучении ядра подчёркивалось, что ядерные силы, соединяющие нуклоны в прочное ядро, не сводятся к электромагнитным или гравитационным, а являются самостоятельным типом фундаментальных сил.

При знакомстве с элементарными частицами на предыдущем уроке учащиеся узнали о взаимодействиях между элементарными частицами, в результате которых происходят их взаимопревращения, были рассмотрены и классы элементарных частиц. Для объяснения нового материала потребуется наличие у учащихся представлений о неустойчивости элементарной частицы и её самопроизвольном распаде с образованием других частиц, о реакциях с элементарными частицами в результате их взаимодействия. Эти вопросы надо повторить при *опросе*.

II. Изложение нового материала. Рассмотрим, в чём состоит взаимодействие элементарных частиц, как оно происходит, к каким результатам приводит.

1. Взаимодействие микрочастиц приводит к изменению их энергии и импульса, к превращению одних частиц в другие в реакциях с элементарными частицами. Взаимодействие ответственно и за образование сложных систем из более простых микрочастиц: атома из ядра и электронов, ядра из нуклонов, барионов и мезонов из кварков. Процессы самопроизвольного распада ядер и элементарных частиц — это тоже результат внутреннего взаимодействия между составными частями ядра или элементарными частицами.

2. Как же осуществляется взаимодействие между элементарными частицами? Как и чем оно передаётся между частицами на некотором расстоянии?

В классической физике предполагалось, что два тела мгновенно действуют друг на друга на расстоянии с некоторыми силами (закон всемирного тяготения, закон Кулона). В электродинамике передача взаимодействия уточнена: переносчиком взаимодействия является электромагнитное поле (для силы всемирного тяготения — гравитационное). Сила действует на тело со стороны поля в точке, где тело находится.

В микромире материальные объекты представлены только элементарными частицами. Как же осуществляется взаимодействие между двумя элементарными частицами, находящимися на некотором расстоянии друг от друга, например отталкивание одного электрона от другого, притяжение электронов к протону?

Так как, кроме элементарных частиц, на микроуровне строения материи нет никаких других материальных объектов, то две элементарные частицы, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга, могут взаимодействовать только с помощью третьей, испускаемой одной и поглощаемой другой частицей. Эту третью частицу называют **квантом поля** данного взаимодействия.

Так, квантом известного нам электромагнитного поля является фотон. Он передаёт взаимодействие между электронами, позитронами, протонами и другими заряженными частицами. Квантом поля ядерных сил является  $\pi$ -мезон (см. таблицу элементарных частиц). При передаче  $\pi$ -мезонов между нуклонами осуществляется их притяжение на расстоянии  $10^{-15}$  м. На большие расстояния мезоны отойти от нуклонов не могут, поэтому макроскопического поля ядерных сил нет.

3. Один из важных вопросов физики элементарных частиц и вообще всей современной физики заключается в определении числа основных, или фундаментальных, взаимодействий. Несмотря на разнообразие объектов нашего мира, несмотря на разнообразие проявлений их взаимодействий между собой, существует лишь четыре типа фундаментальных взаимодействий: **сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное**. В таблице 51 приведены некоторые характеристики типов взаимодействий.



Таблица 51

Взаимодействие	Интенсивность (относительная)	Радиус действия, м	Характерное время реакций с элементарными частицами, с
Сильное	1	$\sim 10^{-15}$	$10^{-23}$
Электромагнитное	$10^{-2}$	$\infty$	$10^{-20}$
Слабое	$\sim 10^{-10}$	$\sim 10^{-18}$	$10^{-13}$
Гравитационное	$\sim 10^{-38}$	$\infty$	?

Радиус действия — это диапазон расстояний, на которых взаимодействие проявляется. Знак бесконечности показывает, что существует макроскопическое поле, взаимодействие имеет место на макроскопических расстояниях.

Приведём примеры взаимодействий.

Мы уже знаем реакцию распада нейтрона

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu},$$

она вызвана **слабым** взаимодействием. Благодаря этой реакции осуществляется  $\beta$ -распад ядер, а благодаря обратному превращению протонов в нейтроны — процессы термоядерного слияния протонов в ядра атомов более тяжёлых элементов на Солнце, при этом выделяется энергия, «питающая» всю Солнечную систему.

За счёт слабого взаимодействия распадаются многие относительно стабильные частицы:  $\mu^\pm$ ,  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$  и др. Характерная особенность слабых процессов — участие в них нейтрино.

В настоящее время экспериментально открыты переносчики слабого взаимодействия. Ими оказались очень массивные частицы (до 100 масс протона), носящие название промежуточных бозонов  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ .

Такие массивные частицы не могут удаляться от участвующих в слабом взаимодействии элементарной частицы на расстояние, большее  $10^{-18}$  м, поэтому в макромире соответствующих слабым взаимодействиям полей нет. (Сейчас установлено, что электромагнитное и слабое взаимодействия имеют на микроуровне общую природу, и в настоящее время они объединены в одно электрослабое взаимодействие.)

**Гравитационное** взаимодействие распространяется на все макротела и микрочастицы, но ввиду малости по сравнению с другими оно при взаимодействии элементарных частиц незаметно. Реакций, происходящих за счёт гравитационного взаимодействия, мы не знаем.

В **электромагнитном** взаимодействии участвуют все классы частиц — лептоны, мезоны, барионы, если частицы несут электрический заряд. Мы знаем множество проявлений электромагнитного взаимодействия в макромире и микромире. Так, в микромире электромагнитное взаимодействие приводит к образованию

атомов и молекул, к излучению и поглощению света атомами и молекулами. К нему же относится реакция аннигиляции

$$e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma,$$

рассеяние фотонов на электронах (эффект Комптона):

$$e^- + \gamma \rightarrow e^- + \gamma'.$$

В **сильном** взаимодействии участвуют мезоны и барионы (общее название — адроны). Лептоны в сильном взаимодействии не участвуют. Ядерные силы — это одно из очень важных проявлений сильного взаимодействия. Нуклоны соединяются в ядрах благодаря сильному взаимодействию.

Происхождение ядерного взаимодействия объясняется процессами обмена  $\pi$ -мезоном — пионом — между нуклонами, причём возможны четыре типа обмена:

$$p \leftrightarrow p + \pi^0, \quad n \leftrightarrow n + \pi^0, \quad p \leftrightarrow n + \pi^+, \quad n \leftrightarrow p + \pi^-.$$

**Слабое** взаимодействие универсально, т. е. в нём участвуют все элементарные частицы (кроме фотонов). Однако оно мало и незаметно там, где есть электромагнитное и сильное. Существуют процессы с элементарными частицами, в которых не участвует ни сильное, ни электромагнитное взаимодействие: они вызваны только слабым взаимодействием. Это прежде всего процессы самопроизвольного распада некоторых микрочастиц относительно долгоживущих (с временем жизни  $\tau$  от  $10^{-16}$  до  $10^{-10}$  с).

4. Во всех взаимодействиях строго выполняются известные нам законы сохранения энергии, импульса, электрического заряда. Их применяют при расчётах реакций с элементарными частицами. Кроме названных, выполняются и другие законы сохранения. Рассмотрим два новых.

Всем барионам присваивается новая характеристика — **барионное число** (или барионный заряд) +1, антибарионам — -1. Сумма барионных чисел замкнутой системы элементарных частиц **сохраняется** при всех взаимодействиях. Барионный заряд лептонов и фотонов равен нулю.

Всем лептонам приписывается **лептонное число** (или лептонный заряд) +1, антилептонам — -1. Остальные частицы имеют нулевой лептонный заряд. Сумма лептонных чисел замкнутой системы элементарных частиц **сохраняется** при всех взаимодействиях. Это значит, что барион не может превратиться в лептон, и наоборот.

5. Законы сохранения можно рассмотреть на конкретных примерах при выполнении з а д а н и й.

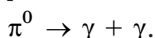
1. Какие из приведённых реакций возможны с точки зрения известных нам законов сохранения?

$$n \rightarrow e^- + e^+ + \nu$$

$$p \rightarrow n + e^- + \nu$$

$$n + p \rightarrow \mu^+ + e^-$$

2. Нейтральный пион распадается в результате электромагнитного взаимодействия на два фотона:



Какой закон сохранения запрещает образование только одного фотона?

3. Почему при аннигиляции электронно-позитронной пары образуются два  $\gamma$ -кванта?
4. Могут ли в реакции с лептонами образоваться только барионы (без антибарионов)?
5. Почему при реакциях  $\beta$ -распада, кроме электронов, образуется антинейтрино, а с позитронами — нейтрино?
6. При изучении элементарных частиц желательно познакомить школьников с важнейшими экспериментами. Советуем изобразить схемы соответствующих опытов или установок.

В заключение урока важно обратить внимание школьников на проблему «элементарности» элементарных частиц, порекомендовать дополнительный материал, подвести итоги изученного с помощью таблицы 50. *Вопросы* для повторения: почему лептоны называют истинно элементарными частицами? Какие законы сохранения применимы к взаимодействию элементарных частиц? Взаимодействуют ли кварки?

*Домашнее задание:* § 97\*, 98\*.

## Урок 4. Современная физическая картина мира

При наличии мировоззренческих обобщений в разных частях курса урок выглядит как повторение и углубление; по форме он может быть проведён как лекция с элементами беседы. Ниже приведём краткий план.

**1. Область и объекты физического познания.** Школьник рассказывает материал первого урока.

**2. Понятие о физической картине мира (ФКМ)** как наиболее общей модели материи, движения и взаимодействия типичных объектов. В состав ФКМ как системы знаний входят: а) исходные идеи; б) представления об области познания; в) основные понятия, законы; г) основные выводы.

**3. Основные понятия, законы, теории современной ФКМ.**

**4. Мировоззренческие выводы.** Четыре фундаментальные теории позволяют в целом объяснить все известные явления мира.

*Домашнее задание:* Заключение; по выбору учителя конкретизация примерами отдельных положений лекции.

## Урок 5\*. Физика и научно-технический прогресс

На основе изученного содержания, использованных ранее таблиц, с учётом интересов школьников могут быть предложены 5—7 тем для выступлений. Примеры вклада физики в то или иное направление развития цивилизации обсуждают фронтально.

## Часть V. ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ

Для эффективного изучения вопросов астрономии необходимы широкое использование современного иллюстративного материала (хороши ресурсы Интернета), организация самостоятельной деятельности школьников при решении задач, в том числе и на повторение, подготовка докладов и рефератов.

Ниже приводится самый экономный вариант планирования учебного процесса. Важно подчеркнуть, что в учебнике материал астрономии хорошо выстроен, изложен содержательно, но кратко, на информационном уровне. Структурирование материала в основном соответствует известной программе Е. П. Левитана. В целом на 8 часов (уроков) по учебнику приходится 11 параграфов. При подготовке занятий желательно использовать книги по преподаванию астрономии известных авторов: Е. П. Левитана, Б. А. Воронцова-Вельяминова, А. В. Засова, Э. В. Кононовича, Е. К. Страута.

### Глава XV. ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ, ЯВЛЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕГАМИРА

Астрономия изучает мегамир и в значительной мере использует методы физики, в том числе её модели и законы (идеальный газ, законы Кеплера и т. д.), методы исследования (спектральный анализ и др.). В переработанном и дополненном учебнике представлены основные положения астрономии. Специфика предмета астрономии прежде всего выражена в описании эволюции звёздных систем и Вселенной в целом, что является существенным дополнением для формирования научного мировоззрения.

Сложность объектов мегамира, их удалённость от Земли (от наблюдателя) приводят к большим погрешностям измерений тех или иных характеристик, поэтому часто говорят только об оценках величин. В связи с этим тем более необходимы явное обращение к моделям, их изображение, получение каких-то обобщений (выводов).

#### Урок 1\*. Видимые движения небесных тел. Законы движения планет

**Задачи урока:** ввести понятия о мегамире и об астрономии — науке, его описывающей; определить и рассмотреть основные объекты мегамира; определить кинематическое описание движения планет и звёзд; ввести новые понятия — небесный экватор, астрономическая единица, парсек, параллакс; познакомиться с законами Кеплера.

## План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Введение	2—3	Сообщение учителя, постановка задач урока
II. Изучение нового материала	25—30	Рассказ учителя. Записи в тетрадях
III. Отработка знаний	10	Работа с учебником по вопросам. Решение задачи
IV. Подведение итогов. Домашнее задание	3—4	Ответы на вопросы. Выделение главного

I. Введение.

II. Логика структурирования содержания урока может быть представлена так:

1. Типичные объекты и явления, изучаемые астрономией (табл. 52). Задаётся объектный мир этой науки.

Таблица 52

Типичные объекты и явления астрономии	
Виды объектов	Типичные явления
1. Малые тела Солнечной системы	Механическое движение, поглощение и отражение света, гравитационное взаимодействие
2. Планеты	Механическое движение, гравитационное взаимодействие, поглощение, отражение и излучение радиоволн
3. Звёзды	Образование звёзд, ядерные реакции и излучение электромагнитных волн разных диапазонов, излучение космических лучей (потоков частиц), взаимодействие звёзд, механическое движение и др.
4. Галактики	Взаимодействие и движение звёзд, взаимодействие галактик, излучение электромагнитных волн
5. Туманности	Поглощение и излучение электромагнитных волн, образование электрических и магнитных полей, механическое движение частиц туманности и др.
6. Системы галактик	Механическое движение, взаимодействие галактик
7. Вселенная как система всех известных материальных объектов	Разбегание галактик, существование электромагнитного излучения и потоков частиц

2. Рассматриваем экваториальную (сферическую) систему координат для описания видимого движения небесных тел: центр отсчёта связан с Землёй, вводим две координаты — прямое восхождение и склонение (рис. 14.1 учебника). По рисунку учебника разбираем, как они определяются.

Обсуждаем историческое значение геоцентрической и гелиоцентрической систем координат (мира) для описания движения небесных тел. Следует подчеркнуть, что практика позволила выбрать наиболее эффективную систему отсчёта и правильно объяснить движение Солнца (не Солнце движется, а Земля...) и странное петлеобразное движение планет (рис. 14.3 учебника).

3. Метод измерения расстояний до звёзд на основе годового движения Земли вокруг Солнца. Рисунок 14.4 учебника выполняется в тетрадах.

4. Природа взаимодействия Солнца и планет. Законы Кеплера.

III. Изученный новый материал сразу же частично отрабатывается при обсуждении рисунков учебника: изображена ли эклиптика на рисунке системы координат (рис. 14.1)? Движение какого небесного объекта изображено на звёздной карте петлёй (рис. 14.2)? Можно ли говорить о видимом движении планеты (рис. 14.3) как о проекции движения объекта на поверхность звёздного неба? Определите с помощью учебника, что за величина обозначена на рисунке 14.4 через  $a_0$ ? В чём не согласуются рисунки 14.4 и 14.6? (О т в е т. Земля движется по эллипсу, но при определении параллакса довольно точно можно считать это движение круговым.) Почему возможен рисунок 14.4 при определении параллакса звёзд? Изображён ли на рисунке 14.7 радиус-вектор? (О т в е т. Радиус-вектор по второму закону Кеплера — это вектор, проведённый, например, из точки  $S$  в точку  $B$ .)

Коллективно решают типичную задачу.

1. Период обращения Марса вокруг Солнца составляет примерно 687 сут. Как на основе законов Кеплера определить расстояние от Марса до Солнца?

К р а т к о е р е ш е н и е. Связь между средним расстоянием планеты от Солнца и периодом её вращения устанавливает третий закон Кеплера:

$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM_C}{4\pi^2} = \text{const.}$  Удобнее воспользоваться

иной формой закона для связи характеристик двух планет:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}.$$

В качестве второй планеты рационально взять Землю: её расстояние до Солнца 1 а. е., период обращения 365 сут. В итоге

получаем простое соотношение  $\frac{x_1^3}{1} = \frac{687^2}{365^2}$ . Расчёт даёт для сред-

него расстояния от Марса до Солнца значение, равное 1,52 а. е., или 228 млн км.

Ученики самостоятельно решают задачу.

2. Определите период обращения искусственного спутника вокруг Земли, если он находится на высоте 1200 км.

Указания. Данные о движении Луны взять из таблиц.

IV. Домашнее задание: § 99\*; упр. на с. 407 (1); двум школьникам можно предложить темы для выступлений на следующем уроке.

## Урок 2. Физическая система Земля—Луна

**Задачи урока:** повторить знания о закономерностях механического движения планет и звёзд; охарактеризовать Землю и Луну как систему; объяснить фазы Луны; повторить и конкретизировать понятие о затмениях; ввести и объяснить приливные явления.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	5—7	Фронтальный опрос по рисункам учебника
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Выступления школьников. Записи в тетрадях
III. Совершенствование знаний	15	Из истории исследования Луны. Демонстрация видеоматериалов с их обсуждением
IV. Подведение итогов	2—3	Выделение главного
V. Домашнее задание	1—2	Сообщение учителя

I. После краткого введения организуется с использованием учебника повторение по *вопросам*: наблюдается ли движение звёзд на небесной сфере? Движение каких объектов экспериментально наблюдают на небесной сфере (рис. 14.2, 14.3 учебника)? Какое расстояние больше: один парсек или одна астрономическая единица? Можно ли с Земли измерить угол  $\pi$  (рис. 14.4 учебника)? В какой системе отсчёта Земля движется по эллипсу? Чему будет равен радиус-вектор Земли в афелии (рис. 14.6 учебника)?

II. Новый материал можно изучать по следующему плану.

1. Учитель определяет систему небесных тел Земля—Луна. После этого два школьника выступают со следующими краткими сообщениями: 1) физические характеристики Земли; 2) физические характеристики Луны (на доске последовательно заполняют и комментируют таблицу 53). Общий **вывод**: Земля и Луна довольно разные астрономические объекты; траектория

движения (эллипс) Луны сильнее вытянута, чем у Земли; скорости движения тоже существенно различаются.

Таблица 53

Свойства	Характеристики	
	Земля	Луна
Форма — приближённо шар, твёрдое тело	Радиус 6400 км	Радиус 1700 км
Инертные и гравитационные свойства	Масса $5,98 \cdot 10^{24}$ кг	Масса $7,35 \cdot 10^{22}$ кг
Средняя плотность вещества	$5500 \text{ кг/м}^3$	$3300 \text{ кг/м}^3$
Форма орбиты — эллипс	Эксцентриситет 0,017	Эксцентриситет 0,055
Движение по орбите	Скорость 1 км/с	Скорость 1 км/с
Ускорение свободного падения на поверхности	$9,8 \text{ м/с}^2$	$1,6 \text{ м/с}^2$

2. Учитель рассказывает о явлениях, обусловленных существованием системы Земля—Луна, описывает видимое с Земли положение Луны (рис. 14.8 учебника). Далее выполняют рисунки затмений, затем обсуждают рисунок 14.9 учебника при объяснении приливов.

III. Из истории исследований Луны: а) методы исследований постоянно развиваются (визуальные наблюдения, локация, фотографирование, изучение проб грунта, спектральный анализ, изучение магнитных полей, исследование сейсмических волн приборами и др.); б) фотографирование обратной стороны Луны (советская станция «Луна—3», 1959 г.) и построение карты Луны; «Луноход—1» (СССР, 1970 г.); в) американская программа «Аполлон» (с 1969 г.).

Выбор материала для рассказа об исследовании Луны возможен в широком диапазоне: показ видеоматериалов учителем, рассказ ученика о фотографировании Луны, о загадках Луны (происхождение Луны, вулканы, ядро и др.).

IV. *Вопросы* для подведения итогов: почему можно говорить о системе Земля—Луна? Почему иногда систему Земля—Луна называют двойной планетой? Какова причина движения Луны вокруг Земли? Какие явления обусловлены гравитационным взаимодействием Земли и Луны? Что такое синодический месяц? Почему на Луне нет атмосферы?

V. *Домашнее задание*: § 100; задача на повторение из упр. на с. 407 (2). Индивидуально рекомендуем предложить провести исследование: на основе визуальных наблюдений (каждый раз выполняя схематический рисунок) изучить изменение вида Луны на небесной сфере; желательно провести не менее четырёх-пяти наблюдений.



### Урок 3. Физическая природа планет и малых тел Солнечной системы

**Задачи урока:** рассмотреть строение Солнечной системы; ввести понятия о планетах земной группы и планетах-гигантах, астероидах, кометах, метеорах и метеоритах; изучить некоторые характеристики этих объектов.

#### Ход урока

**I.** Совершенствование изученных знаний возможно в форме выступления ученика на конкретную, заранее определённую, тему, например «Свойства поверхности Луны».

**II.** Содержание изучаемого материала урока делится на три части: 1) планеты земной группы; 2) планеты-гиганты; 3) малые тела Солнечной системы. Логика характеристики планет такова: расположение, размер, масса в сравнении, средняя плотность, атмосфера, температура. Логика рассмотрения малых тел такова: размер, орбита и движение, отдельные характеристики известных малых тел (комета Галлея, Аризонский метеорит и др.).

**III.** Для отработки изученного материала рассматривается пример решения задачи 1 из учебника (с. 406). *Вопросы* для обсуждения: можно ли с Земли экспериментально измерить радиус орбиты спутника Ио и его период? Можно ли экспериментально измерить его массу? Можно ли использовать третий закон Кеплера при движении тела по гиперболической траектории?

Коллективно решают задачу.

1. Чему предположительно была равна кинетическая энергия метеорита Гоба при скорости движения 20 км/с (учебник, с. 377)?
2. Выберите модель и оцените размеры кратера, если вся кинетическая энергия метеорита Гоба была израсходована на образование кратера.

*Вопросы* для повторения: о чём свидетельствует малая средняя плотность планет-гигантов? Как лучше определить астероиды: звездообразные тела или малые тела Солнечной системы? Можно ли отнести кометы к малым телам Солнечной системы? Как определить размер самого крупного астероида в Солнечной системе? (О т в е т. Около 600 км.) Чем метеорит отличается от астероида?

**IV.** *Домашнее задание:* § 101; упр. на с. 407 (3). Рекомендуем индивидуально предложить провести исследование.

1. Выяснить по литературным источникам особенности падения знаменитого Тунгусского метеорита.

2. Оценить размеры Тунгусского метеорита, если предположительно он был: а) каменным с плотностью  $3,5 \text{ г/см}^3$  и имел массу до миллиона тонн; б) ледяным обломком кометы массой до миллиона тонн.

3. Оценить кинетическую энергию метеорита, если он двигался со скоростью 30 км/с.

## Урок 4. Солнце

**Задачи урока:** изучить основные характеристики Солнца; ввести ряд новых понятий: светимость, хромосфера, фотосфера, корона, протуберанец, солнечный ветер и др.

### Ход урока

**I.** Проверяют выполнение домашнего задания в форме фронтального опроса; заслушивают выступления школьников о Тунгусском метеорите.

**II.** Всевозможных данных о Солнце много, все они в той или иной степени интересны. Тем более важно выделить логику, а затем — метод познания. На уроке логика рассмотрения нового материала может быть представлена так:

**1.** Солнце как астрономический (физический) объект:

а) форма: внешний вид — светящийся диск с тёмными пятнами, плазменный шар радиусом примерно 700 000 км, масса  $2 \cdot 10^{30}$  кг; плотность: на поверхности средняя плотность разреженных газов около  $1400 \text{ кг/м}^3$ , в центре — порядка  $150\,000 \text{ кг/м}^3$ ;

б) движение: вращение вокруг оси, но с разной угловой скоростью на полюсе и экваторе (период 25—30 сут), что требует использования более сложной модели, чем «абсолютно твёрдое тело»; период обращения Солнца вокруг центра Галактики ориентировочно равен 200 млн лет, а скорость обращения — около 220 км/с;

в) взаимодействия: гравитационное с планетами, между частями вещества Солнца (ускорение свободного падения на поверхности Солнца почти в 30 раз больше, чем на поверхности Земли); электромагнитное между атомами, между атомами и элементарными частицами, например при излучении фотонов электромагнитного излучения;

г) состав вещества Солнца: водород (около 71%), гелий (около 27%), другие химические элементы (всего обнаружено более 70 разных элементов);

д) энергетические характеристики Солнца: солнечная постоянная, светимость, температура — на поверхности на уровне фотосферы температура около 6000 К, в центре — порядка  $10^7 \text{ К}$  (законы Вина и Стефана—Больцмана).

**2.** Физические явления на Солнце или обусловленные Солнцем: образование структуры фотосферы в форме гранул, конвекция вещества изнутри в фотосферу, образование и движение пятен (температура около 4000 К) в фотосфере, солнечная корона (её газ нагрет до  $10^6 \text{ К}$ ) и протуберанцы в ней (с температурой порядка 6000—8000 К, массой в миллионы тонн), солнечный ветер как излучаемый Солнцем в космическое пространство поток протонов, электронов и ионов со скоростями порядка 800 км/с, световое и гравитационное действие (например, приливы) на

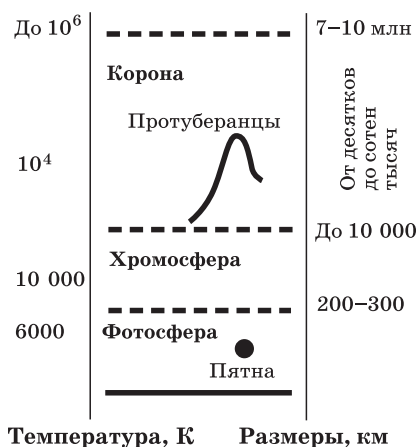


Рис. 141

Землю и живые организмы (о связи активности Солнца и эпидемий на Земле — см. работы нашего замечательного учёного А. Л. Чижевского).

**Вывод-обобщение:** гравитационное притяжение Солнца создаёт условия для существования Солнечной системы, излучение Солнца создаёт физические условия для многих явлений в Солнечной системе (в частности, условия жизни на Земле).

На рисунке 141 изображена модель верхних слоёв (атмосферы) Солнца, построенная на основе различных экспериментальных данных.

**III.** При отработке знаний, кроме репродуктивных вопросов, необходимо обсудить *вопросы* творческого плана. Например: какие ещё физические явления возникают на разных планетах в результате действия излучения Солнца? (О т в е т. Нагрев вещества поверхности планеты, в том числе его испарение, и др.) Вы скажите гипотезы о причине возникновения пятен на Солнце. Верно ли встречающееся иногда мнение о том, что появление солнечных пятен свидетельствует об остывании Солнца? Как можно сфотографировать солнечные пятна и гранулы? Когда и как лучше наблюдать протуберанцы? Почему температура хромосферы и короны больше, чем у фотосферы (см. рис. 141)? Почему так долго энергия от центра идёт к поверхности Солнца (учебник, с. 388)? Почему космонавту опасно выходить в открытый космос при солнечной хромосферной вспышке?

**IV. Домашнее задание:** § 102; задание на с. 382 учебника.

## Урок 5. Основные характеристики звёзд

**Задачи урока:** сформировать понятия «освещённость», «светимость», «спектр»; ввести понятие «спектральный класс звёзд»; определить четыре группы звёзд; изучить закономерности, описываемые диаграммой Герцшпрунга—Рассела, и связь массы звезды и её светимости.

### Ход урока

**I. Фронтальный опрос** по основным представлениям о Солнце. Краткое выступление ученика (до 5 мин) с какой-нибудь интересной информацией о жизни Солнца, например об 11-летнем цикле солнечной активности.

## II. Организация изучения нового материала.

1. Учитель рассказывает о типичных группах звёзд (звёзды главной последовательности, красные гиганты, сверхгиганты, белые карлики) и диаграмме «спектр—светимость», вводит соответствующие понятия.

2. Коллективно с использованием учебника решают задачи.

1. Оцените светимость Веги ( $\alpha$  Лиры) — звезды главной последовательности, если её масса больше массы Солнца в 2,8 раза.

**Краткое решение.** Для звёзд главной последовательности в учебнике рассмотрена закономерность  $L_3 \approx L_C \left( \frac{M_3}{M_C} \right)^4$ .

Светимость Солнца известна (учебник, с. 380):  $4 \cdot 10^{26}$  Вт. Отсюда для Веги имеем светимость  $L \approx 4 \cdot 10^{26} \cdot (2,8)^4 \approx 2,5 \cdot 10^{28}$  (Вт), т. е. примерно в 60 раз больше.

2. Оцените температуру Веги, если известны её светимость и радиус.

**Краткое решение.** По формуле, полученной на основе закона Стефана—Больцмана для модели излучения абсолютно

чёрного тела, имеем выражение  $T = \sqrt[4]{\frac{L}{\sigma 4\pi R^2}}$  (учебник, с. 381).

Светимость Веги равна  $2,5 \cdot 10^{28}$  Вт (см. решение задачи 1), радиус Солнца равен примерно 700 000 км (значение радиуса берём из Справочника),  $R = 2,2R_C \approx 1\,500\,000$  км, постоянная  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К). Далее следует расчёт.

3. Оцените температуру звезды-сверхгиганта Бетельгейзе, основываясь на законе Вина (учебник, с. 381).

**Краткое решение.** Красный цвет звезды указывает, что максимум излучения наблюдается на длине волны

$7,6 \cdot 10^7$  м. Из формулы закона Вина  $\lambda_{\max} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{T}$  получаем  $T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{7,6 \cdot 10^{-7}} \approx 3400$  (К). В учебнике (с. 384) и таблицах приводится значение около 3500 К, что соответствует нашему расчёту.

III. Подведение итогов урока проводится по вопросам: какие характеристики звёзд определяют экспериментально? Какие характеристики звёзд рассчитывают теоретически?

IV. Домашнее задание: § 103; упр. на с. 387 (ЕГЭ); индивидуально — составить задачу аналогично примеру 2 на с. 406 учебника.

## Урок 6\*. Внутреннее строение Солнца и звёзд главной последовательности. Эволюция звёзд

**Задачи урока:** показать, что законы физики хорошо применимы для описания процессов внутри звёзд; изучить существенные характеристики четырёх групп звёзд; ввести понятие о новом астрономическом объекте — чёрной дыре; раскрыть основные особенности эволюции звёзд.

$T \approx 6000 \text{ К}$

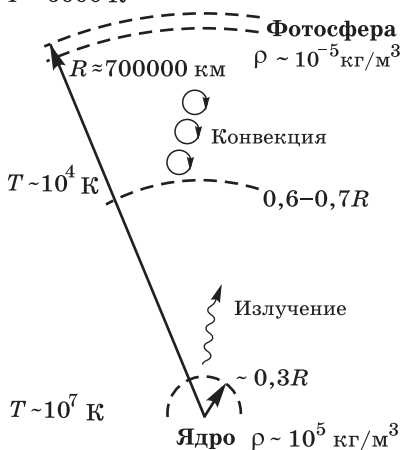


Рис. 142

### Ход урока

**I.** Повторение организует-ся при решении задачи, ана-логичной примеру 2 на с. 406 учебника, и обсуждении *вопро-сов*: каково строение оболочки Солнца? К какому типу звёзд относится Солнце? Каковы ос-новные характеристики звёзд?

**II.** Рассказ с элементами бе-седы строится по следующему **плану**:

**1.** Модель строения Солн-ца: ядро, центральная часть с фотосферой, атмосфера-об-олочка (рис. 142, см. рис. 141). Характеристики частей Солнца и типичных процессов в них:

1) плотное ядро — термоядер-ные реакции, теплопередача излучением и конвекцией в плазме; 2) атмосфера-оболочка — механическое движение газа, излуче-ние электромагнитных волн, выброс заряженных частиц.

Обязательно нужно обсудить *вопрос*: почему рисунку 142 больше соответствует подпись «Модель строения Солнца», а не подпись «Строение Солнца»?

**2.** Характеристики основных типов звёзд и основных процес-сов лучше всего представить в сравнении с помощью таблицы 54.

Таблица 54

Тип звёзд	Характеристики объекта	Характеристики типичных процессов
Звёзды главной последовательности	Солнце — газовый шар. Температура в центре до $10^7 \text{ К}$ . Состав — водород и гелий	Термоядерные реакции в центре. Излучение света в течение милли-ардов лет
Гиганты	Размеры в десятки раз больше Солнца, свети-мость в сотни раз больше	Излучение красного цвета. Образование химических элементов вплоть до железа в тер-моядерных реакциях

Тип звёзд	Характеристики объекта	Характеристики типичных процессов
Белые карлики	Размеры — тысячи километров, плотности порядка $10^4$ — $10^8$ кг/м <sup>3</sup>	Малая светимость
Нейтронные звёзды	Плотности порядка $10^{17}$ кг/м <sup>3</sup> , размеры — десятки километров, иногда вращение с большой скоростью — пульсар	Пульсар — радиоисточник с высокой стабильностью и периодичностью сигнала излучения
Чёрные дыры	Малые размеры (десятки километров!), массы порядка массы нескольких Солнц ( $10 M_{\odot}$ ), громадные плотности	По теории для чёрной дыры вторая космическая скорость должна быть больше скорости света. Чёрная дыра ничего не излучает, но поглощает всё: и вещество, и излучение

3. Этапы жизни звезды: возникновение, функционирование, превращение в новый объект. *Вопросы* для обсуждения: можно ли в самом деле считать, что звёзды умирают, если даже в случае взрыва сверхновой звезды остаётся, например, нейтронная звезда? Можно ли проследить за жизнью отдельной звезды? На основании чего учёные убеждены в эволюции звёзд? Во что превращаются звёзды в конце жизни?

III. Отработка изученного материала может быть организована: а) при работе с учебником по материалу параграфов главы; б) в возможных сообщениях школьников об открытиях пульсаров, чёрных дыр; в) при коллективном выполнении и комментировании модели рисунка пульсара (рис. 143).

В заключение урока делают обобщение о применении физических знаний, полученных на Земле, к весьма далёким объектам и явлениям. Во-первых, всегда есть проблема применения знаний к новым объектам. Физики, например, установили, что законы механики неприменимы к микромиру. А применимы ли они к мегамиру? Опыт теоретических и экспериментальных исследований убеждает: наши физические

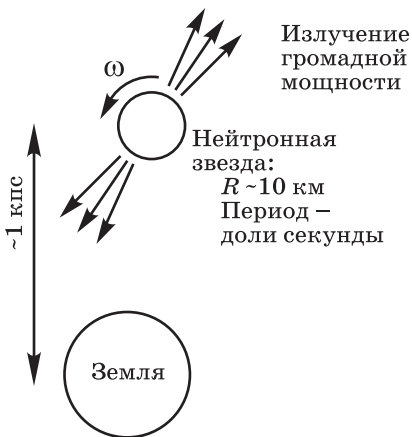


Рис. 143

законы хорошо применимы и для других звёздных миров! **Вывод:** мир обладает единством. Хотя очевидно, что нас ещё ждут здесь открытия... Во-вторых, физические законы позволяют, хотя бы качественно, объяснять и даже предсказывать существование уникальных астрономических объектов и явлений. Например, объяснять такие факты наблюдений, как белые карлики, пульсары, чёрные дыры... Но главное — на основе физических знаний можно *активно искать* (что весьма трудно!) такие необычные объекты во Вселенной. В-третьих, физика развивается при применении физических знаний к объектам мегамира: совершенствуются теоретические модели пространства—времени, физических процессов внутри звёзд, предсказываются новые свойства вещества и излучения и т. д.

**Вопросы** для выделения главного: как объясняет наука излучение звёздами громадной энергии в течение миллиардов лет? Какие типичные изменения происходят со звездой? (О т в е т. Сжатие газопылевого облака и образование протозвезды, повышение температуры; звезда главной последовательности — термоядерные реакции, излучение света; выгорание водорода и образование красного гиганта; некоторые звёзды в итоге не могут удержать оболочку, и остаётся только ядро — белый карлик; массивные звёзды могут взрываться как сверхновые, в течение нескольких дней светят как миллиард Солнц, в результате чего звезда превращается в нейтронную звезду или чёрную дыру.) Может ли в ходе термоядерных реакций образовываться кислород? (См. фрагмент текста учебника на с. 389.) Чем звёзды отличаются от планет? Из чего состоят звёзды?

**IV. Домашнее задание:** § 104\*, 105; упр. на с. 391 (ЕГЭ).

## Урок 7. Галактики и их характеристики

**Задачи урока:** ввести понятие о новом астрономическом объекте — галактике; охарактеризовать состав и строение галактик, описать их типичные свойства; ввести понятие о квазаре и представить его модель; обозначить экспериментальное открытие скоплений галактик; рассмотреть закон Хаббла и показать его значение.

### План урока

Этапы урока	Время, мин	Приёмы и методы
I. Повторение	5—7	Фронтальный опрос по рисункам учебника
II. Изучение нового материала	20—25	Рассказ учителя. Доклады школьников. Записи в тетрадях
III. Совершенствование знаний. Подведение итогов	10	Демонстрация видеоматериалов с их обсуждением
IV. Домашнее задание	1	Сообщение учителя

1. Организуется фронтальное повторение изученного с помощью *вопросов*: что такое звезда? Каковы строение и характеристики типичной звезды — Солнца? Какие группы звёзд известны? Какие физические процессы происходят со звёздами? Почему период пульсара сравнительно мал (рис. 15.3 учебника)?

II. Предлагаем следующий план изучения нового материала.

1. Определение галактики как звёздной системы. Её характеристики: состав, движение, масса и др.

2. Типы галактик: эллиптические, спиральные, неправильные (рис. XI, XII, XIV, XVIII на цветной вклейке учебника). *Вопросы* для обсуждения по рисункам: к какому типу относится наша Галактика? Чем могут различаться спиральные галактики (рис. XI и XIV на вклейке учебника)? Чем различаются эллиптические и спиральные галактики? (О т в е т. Формой, числом звёзд, их движением.)

3. О квазаре возможно краткое сообщение школьника (до 5 мин). *Вопросы* для рассмотрения: является ли квазар звездой? Где находятся квазары? (О т в е т. В далёких, до 5 млрд св. лет, галактиках.) Почему их обнаружили экспериментально? (О т в е т. Их светимость в сотни раз больше светимости целой галактики!) Что такое квазар? (О т в е т. Ядро галактики сравнительно небольшое, одного порядка с размерами Солнечной системы; скопление вещества с массой, в миллионы раз большей массы Солнца; мощный источник оптического, радио- и рентгеновского излучений.) Можно ли экспериментально обнаружить структуру квазара? (О т в е т. Пока это проблематично, так как геометрические размеры объекта очень малы, а расстояние до него велико.)

4. Группы галактик. Метагалактика как экспериментально фиксируемый мир галактик (их порядка сотни миллиардов), межгалактическая среда. Галактики в Метагалактике располагаются существенно плотнее, чем звёзды в галактике. Причём подсчёт числа галактик по разным направлениям свидетельствует об **однородности** и **изотропности**, т. е. одинаковом по направлениям пространственном распределении галактик. Экспериментально зафиксирована нестационарность галактик: активность, выбросы вещества, процессы звездообразования в них и др.

5. Экспериментальное изучение спектров галактик при их расшифровке привело к научному факту, свидетельствующему об их разбегании друг от друга, т. е. о нестационарности их распределения в пространстве. В 1912 г. американский астроном В. Слайфер обнаружил красное смещение спектральных линий в спектрах галактик, а в 1929 г. известный американский астроном Э. Хаббл сформулировал закон  $v = Hr$ , где  $H$  — постоянная Хаббла, а  $r$  — расстояние между галактиками, т. е. чем дальше галактика от нас (или от любой другой галактики), тем больше скорость её удаления.

Целесообразно решить з а д а ч у на закон Хаббла.

1. Оцените расстояния от Земли до самых удалённых галактик.



### Краткое решение.

Если знать значение  $H = (55—75)$  км/(с · Мпк) и учесть существование предельной скорости движения объектов  $3 \cdot 10^8$  м/с, то можно оценить возможные размеры Вселенной.

Например, при  $H = 55$  км/(с · Мпк) и предельной скорости  $3 \cdot 10^8$  м/с получаем  $r = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{55 \cdot 10^3 \text{ м/с}} \cdot 1 \text{ Мпк} \approx 10^4 \text{ Мпк}$ . При другом значении постоянной Хаббла имеем тот же порядок величины.

Подчеркнём, что это предельная оценка. В реальности размеры наблюдаемого мира должны быть меньше. В настоящее время другими методами экспериментально измерено расстояние до одной из самых удалённых галактик: оно оказалось немногим более 5000 Мпк. Напомним, что расстояние 1 Мпк свет проходит примерно за 3,3 млн лет. Это — громадное расстояние! Школьники должны понимать сложности точного определения постоянных величин.

**III.** Выделение главного на уроке лучше всего организовать вокруг *вопроса* об изученных структурных образованиях Вселенной (планеты, звёзды, галактики, туманности, квазары, группы галактик, Метагалактика) с помощью доступного иллюстративного материала. *Вопросы:* известны ли планеты у других звёзд? Как они обнаружены: ведь размеры их малы, а сами они не светят? (*О т в е т.* Методом изучения движения звезды, на которое планета оказывает гравитационное влияние.) Чем различаются планеты (звёзды, галактики)?

**IV.** *Домашнее задание:* § 106, 107; упр. на с. 396 (ЕГЭ); индивидуально — § 108\*; напомнить о докладах.

## Урок 8\*. Решение задач (резерв учителя)

## Урок 9\*. Конференция «Строение и эволюция Вселенной»

По данной теме возможен традиционный урок; другим вариантом является лекция в планетарии. Но эффективнее познавательная активность обеспечивается организацией интересной самостоятельной работы. Предлагаем по материалу учебника (§ 108\*) организовать конференцию с докладами по следующим темам:

**1. Вселенная как фундаментальный астрономический объект.** Весь наш мир в целом называют Вселенной. Основные известные параметры Вселенной: состав, возраст, размеры, средняя плотность вещества, скорости движения вещества, излучения и поля. Демонстрация и комментарий обобщающей таблицы 55.

**2. Методы исследования в астрономии.** Физические методы в астрономии развивались вместе с физикой. Приведём примеры.

Исторически первыми и важными по результатам стали **методы классической механики**. С их помощью были определены

### Типичные объекты Вселенной

- Межгалактический газ
- Галактика
- Звёздные скопления
- Звёзды

### История в форме модели Большого взрыва

## ВСЕЛЕННАЯ как объект

### Принципы изучения

- Движение и развитие всех объектов
- Структурное строение Вселенной
- Постоянство фундаментальных констант: скорости света, Планка и др.

### Фундаментальные понятия

- Пространство и время. Галактика
- Пульсар, нейтронная звезда, черная дыра
- Звезда
- Планета
- Эволюция
- Характеристики звёзд: спектральный класс, светимость и др.

### Закономерности

- Расширение Вселенной – закон Хаббла
- Классификация звёзд, галактик
- Диаграмма Герцшпрунга—Ресселла
- Связь массы звезды и её светимости
- Физические законы: Кеплера, эффект Доплера, законы излучения и др.
- Теория Большого взрыва
- Однородность и изотропность пространственного распределения галактик

### Разделы астрономии

- Астрофизика
- Радиоастрономия
- Космология
- Небесная механика
- Звёздная и планетная космогония
- Астрометрия

координаты планет, звёзд, в итоге были построены карты звёздного неба.

Развитие **физической оптики** привело к появлению нескольких фундаментальных методов в астрономии. Первым по праву является спектральный анализ. Были открыты многие свойства и спектральные классы звёзд. Изучение светимости звёзд позволяет оценить их размеры и температуры их поверхностей.

Открытие в физике излучений разных длин волн привело к возникновению радиоастрономии, рентгеновской и гамма-астрономии. Так, например, с помощью рентгеновского излучения были открыты чёрные дыры.

**Ядерная физика** позволила понять механизм излучения звёздами громадной энергии в течение длительного времени — это термоядерные реакции.

**Статистическая физика** даёт метод оценки возраста вещества метеорита на основе экспериментальных данных радиоактивного распада урана.

Можно подготовить *пример решения задачи* по оценке возраста упавшего метеорита.

**Факты.** На Землю упал метеорит, в составе которого учёные довольно точно измерили процентное содержание урана и свинца. Период полураспада урана известен —  $4,5 \cdot 10^9$  лет.

Была поставлена *задача*: измерить массу элементов. Оказалось, что масса урана  ${}_{92}^{238}\text{U}$  — 238 кг, а масса свинца  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  — 206 кг, т. е. имеем количество вещества урана, равное  $10^3$  моль, и такое же количество вещества свинца.

**Теоретическая модель.** Предполагается, что в момент образования в состав метеорита входил только уран  ${}_{92}^{238}\text{U}$  с другими минералами. Согласно теории ядро урана в результате последовательного радиоактивного распада превращается в ядро стабильного изотопа свинца  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ .

**Решение задачи.** Из теории ясно, что одно ядро урана в ходе распада в конечном итоге превращается в одно ядро свинца, т. е. в нашем случае число частиц урана за время жизни метеорита уменьшилось вдвое. На основе закона радиоактивного распада  $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$  получаем  $\frac{N_0}{2} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$ . Отсюда выражаем время:  $-1 = -\frac{t}{T}$ , или  $t = T$ , т. е. прошло около 4,5 млрд лет.

**Интерпретация.** Числовой результат решения хорошо согласуется с другими представлениями о времени возникновения нашей Солнечной системы, он не противоречит известным теоретическим знаниям. Значит, оценка получена верная.

**3. Современная модель эволюции Вселенной:** теоретическая модель Эйнштейна—Фридмана, факт разбегания галактик как подтверждение расширения Вселенной, факт наблюдения реликтового излучения как доказательство образования Вселенной в результате Большого взрыва, проблемы изучения Вселенной.

В настоящее время наиболее известной считается теория развития Вселенной в виде модели Большого взрыва. Она была предложена американским физиком русского происхождения Дж. Гамовым (1904—1968). В некий момент времени, по оценкам, 10—20 млрд лет тому назад, масса Вселенной была сосредоточена в области меньше  $10^{-35}$  м, но произошёл взрыв и последовавшее за ним расширение, распространение материи. Температура в начальный момент времени была неопределённо велика, более  $10^{33}$  К. По теоретическим оценкам, через

0,1 с температура понизилась до  $10^{14}$  К, а значит, при такой ещё громадной температуре существовало только излучение. В первые секунды после Большого взрыва при взаимодействии частиц излучения образовывались частицы и античастицы. При дальнейшем расширении Вселенной происходило её охлаждение, под действием гравитационного взаимодействия стали образовываться галактики, звёзды.

В 1965 г. американскими астрофизиками А. Пензиасом и Р. Вилсоном было сделано фундаментальное открытие — экспериментально обнаружено реликтовое радиоизлучение. Этот научный факт подтверждает теорию Большого взрыва и модель горячей Вселенной.

**4. Интересные книги о Вселенной.** Можно рекомендовать школьнику выбрать и дать краткую характеристику книги по астрофизике, например: 1) Хоккинг С. Краткая история времени. От Большого взрыва до чёрных дыр. — СПб.: Амфора, 2010; 2) Шкловский И. С. Вселенная. Жизнь. Разум. — М.: Наука, 1987 (то же в издательстве журнала «Экология и жизнь», 2006).

*Вопросы для дискуссии:* можно ли экспериментально изучить всю Вселенную? Какие методы используются для изучения ранних стадий развития Вселенной? (О т в е т. Во-первых, это теоретическое моделирование на основе физических законов и теорий. Во-вторых, спектральный метод, так как свет от далёких объектов идёт миллиарды лет и несёт нам информацию о ранней стадии развития Вселенной.) В чём особенности методов исследования астрономических объектов? (О т в е т. Обычно эти объекты нам напрямую недоступны, исследуют их на больших расстояниях, что сразу накладывает ограничения. Например, нереально определить форму и размеры звёзд в галактиках. В подавляющем большинстве случаев мы не можем обнаружить планеты вокруг звёзд и др. Методы исследования в астрономии сильно зависят от уровня развития физики.) Возникают ли в ходе изучения Вселенной вопросы, на которые пока физика не может ответить? (О т в е т. Да. Например: что было до Большого взрыва? Как долго будет расширяться Вселенная? В чём заключается эволюция чёрных дыр?) Почему в космологии такое большое значение имеет открытие реликтового излучения? (О т в е т. Реликтовое излучение — излучение вещества на ранней стадии возникновения Вселенной, которое дошло до нас. По мере расширения Вселенной температура излучения падала, теория предсказала энергию квантов излучения, и экспериментально это было подтверждено. Энергия кванта реликтового излучения в несколько тысяч раз меньше энергии кванта видимого света. Это излучение изотропно, т. е. одинаково по разным направлениям, что подтверждает модель Большого взрыва. Экспериментально измерив энергию кванта реликтового излучения, можно теоретически рассчитать энергию квантов излучения сразу после Большого взрыва, определить температуру и т. д.) Есть ли во Вселенной объекты, которые в настоящее время учёные ещё не открыли?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б а т ы г и н В. В. Законы микромира: кн. для внеклас. чтения: 8—10 кл. / В. В. Батыгин. — М.: Просвещение, 1981. — (Мир знаний).
2. Б р а г и н с к и й В. Б. Удивительная гравитация (или как измеряют мир) / В. Б. Брагинский, А. Г. Полнарёв. — М.: Наука, 1985. — (Библиотечка «Квант». — Вып. 39).
3. Б р и л л ю э н Л. Новый взгляд на теорию относительности / Л. Бриллюэн. — М.: Мир, 1972.
4. Б р о й л ь Л. де. Революция в физике (новая физика и кванты) / Л. де Бройль. — М.: Атомиздат, 1965.
5. Б р о н ш т е й н М. П. Солнечное вещество. Лучи икс. Изобретатели радиотелеграфа / М. П. Бронштейн. — М.: Римис, 2013.
6. Б э р н х е м Р. Атлас Вселенной для детей / Р. Бэрнхем. — М.: Ридерз Дайджест, 2001.
7. Б я л к о А. В. Наша планета — Земля / А. В. Бялко. — М.: Наука, 1983. — (Библиотечка «Квант» — Вып. 29).
8. В а й с к о п ф В. Физика в двадцатом столетии / В. Вайскопф. — М.: Атомиздат, 1977.
9. Г е й з е н б е р г В. Физика и философия: часть и целое / В. Гейзенберг. — М.: Наука, 1989.
10. Д а н и н Д. С. Вероятностный мир / Д. С. Данин. — М.: Знание, 1981. — (Жизнь замечательных идей).
11. Д ж е м м е р М. Эволюция понятий квантовой механики / М. Джеммер. — М.: Наука, 1985.
12. Д р у я н о в Л. А. Законы природы и их познание: кн. для внеклас. чтения: 8—10 кл. / Л. А. Друянов. — М.: Просвещение, 1982. — (Мир знаний).
13. К л а й н Б. В. В поисках... Физики и квантовая теория / Б. В. Клайн. — М.: Атомиздат, 1971.
14. М у х и н К. Н. Занимательная ядерная физика / К. Н. Мухин. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
15. М я к и ш е в Г. Я. От динамики к статике / Г. Я. Мякишев. — М.: Знание, 1983.
16. П у а н к а р е А. О науке / А. Пуанкаре. — М.: Наука, 1990.
17. С а г а н К. Космос: эволюция Вселенной, жизни и цивилизации / К. Саган. — СПб.: Амфора, 2013.
18. С а у р о в Ю. А. Квантовая физика: модели уроков: кн. для учителя / Ю. А. Сауров, В. В. Мултановский. — М.: Просвещение, 1996.
19. С а у р о в Ю. А. Электродинамика: модели уроков: кн. для учителя / Ю. А. Сауров, Г. А. Бутырский. — М.: Просвещение, 1992.
20. С п а с с к и й Б. И. История физики. В 2 ч. Ч. 2 / Б. И. Спасский. — М.: Высшая школа, 1977.
21. С п и р и д о н о в О. П. Свет: физика, информация, жизнь / О. П. Спиридонов. — М.: Просвещение, 1993.

22. Т а р а с о в Л. В. Современная физика в средней школе / Л. В. Тарасов. — М.: Просвещение, 1990.
23. Физика микромира / под ред. Д. В. Ширкова. — М.: Советская энциклопедия, 1980. — (Маленькая энциклопедия).
24. Х о к и н г С. Мир в ореховой скорлупке / С. Хокинг. — СПб.: Амфора, 2013.
25. Школьникам о современной физике: Акустика. Теория / сост. В. Н. Руденко. — М.: Просвещение, 1990.
26. Школьникам о современной физике: Классическая физика. Ядерная физика / под ред. В. З. Кресина. — М.: Просвещение, 1974.
27. Э й н ш т е й н А. Собрание научных трудов: В 4 т. Т. 4 / А. Эйнштейн. — М.: Наука, 1967.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Организация мышления и мировоззрения школьников при обучении физике в старшей школе (вместо введения)	4
Об электронной форме учебника .....	7
Тематическое планирование .....	8
<b>Часть I. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ (продолжение)</b>	10
Глава I. Магнитное поле .....	—
Глава II. Электромагнитная индукция .....	25
<b>Часть II. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ</b> .....	51
Глава III. Механические колебания .....	—
Глава IV. Электромагнитные колебания .....	70
Глава V. Механические волны .....	96
Глава VI. Электромагнитные волны .....	110
<b>Часть III. ОПТИКА</b> .....	129
Глава VII. Геометрическая оптика .....	132
Глава VIII. Световые волны .....	140
Глава IX. Основы специальной теории относительности...	158
Глава X. Электродинамика как теория .....	168
<b>Часть IV. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА</b> .....	183
Глава XI. Световые кванты .....	—
Глава XII. Атомная физика .....	204
Глава XIII. Физика атомного ядра .....	226
Глава XIV. Обобщения современной физики .....	246
<b>Часть V. ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ</b> .....	256
Глава XV. Основные объекты, явления и закономерности мегамира .....	—
Литература .....	273