

53  
453  
Начальное  
и среднее  
профессиональное  
образование

В. Ф. Дмитриева  
Л. И. Васильев

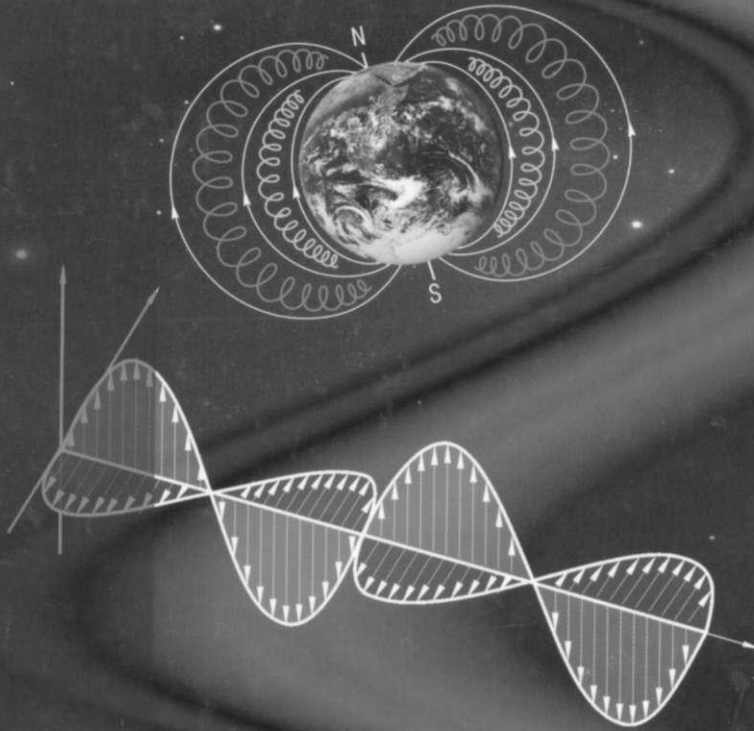
л

# ФИЗИКА

ДЛЯ ПРОФЕССИЙ И СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Методические  
рекомендации

Общеобразовательные дисциплины



ACADEMIA

НАЧАЛЬНОЕ И СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**В.Ф.ДМИТРИЕВА, Л. И. ВАСИЛЬЕВ**

# **ФИЗИКА**

**ДЛЯ ПРОФЕССИЙ И СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

*Рекомендовано  
Федеральным государственным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве методического пособия для использования  
в учебном процессе образовательных учреждений,  
реализующих программы начального профессионального  
и среднего профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 124  
от 14 мая 2010 г. ФГУ«ФИРО»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2010

УДК 53:001.8(075.32)

ББК 74.262.22я722

Д531

**Рецензенты:**

кандидат педагогических наук *В.Г.Иванов*  
(ФГОУ СПО «Уфимский авиационный техникум»);

преподаватель физики *Е.В.Кололова*  
(ГОУ СПО «Московский политехнический колледж»)

Д531 Дмитриева В. Ф.  
Физика для профессий и специальностей технического профиля. Методические рекомендации : метод, пособие / В.Ф.Дмитриева, Л.И.Васильев. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 176 с.

ISBN 978-5-7695-6906-7

Методическое пособие подготовлено в помощь преподавателям физики учреждений начального и среднего профессионального образования технического профиля и включено в комплекс учебно-методических пособий, подготовленных к учебнику В.Ф.Дмитриевой «Физика для профессий и специальностей технического профиля». Комплекс содержит также учебные пособия «Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач» и «Физика для профессий и специальностей технического профиля. Контрольные материалы». В пособии предложена методика формирования понятий, изучения наиболее сложных для усвоения законов. Значительное внимание уделено методике систематизации знаний обучающихся.

Методическое пособие предназначено для преподавателей физики образовательных учреждений начального и среднего профессионального образования. Может быть полезно преподавателям вузов и учителям физики средних школ, лицеев, гимназий.

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение  
любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Дмитриева В.Ф., Васильев Л. И., 2010

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-6906-7

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема повышения эффективности обучения физике актуальна и сложна. Ее невозможно рассмотреть в полном объеме в рамках одного учебного пособия.

В данном пособии раскрыт современный подход к формулированию целевого компонента — с точки зрения деятельности обучающихся. Целевой компонент выступает как способ интеграции различных действий в некоторую последовательность или систему (за абстрактными формулировками всегда скрывается отсутствие содержательного видения желаемых результатов). Выделены уровни результатов образовательного процесса до его начала, тем самым предоставлена возможность выбора уровня освоения дисциплины. Цели обучения носят деятельностно-ориентированный, а значит, диагностируемый характер, что позволяет соотнести их с результатами обучения и фиксировать планируемые изменения в способах деятельности обучающихся.

Авторами предложена методика формирования понятий, изучения законов. Методический анализ понятий в одних случаях развернутый, в других — указаны наиболее важные аспекты. Большое внимание уделено структурированию, систематизации и обобщению знаний. Рассмотрены экологические вопросы и приведены примеры реализации межпредметных связей в конкретных темах курса физики.

Данное пособие окажет определенную помощь преподавателям в систематизации и обобщении их собственного опыта работы, в формировании педагогического стиля работы, в рациональном использовании и экономии времени для творческой работы.

Методические указания предназначены для преподавателей физики учреждений начального и среднего профессионального образования, но могут быть полезны преподавателям вузов и учителям физики средних школ, лицеев, гимназий.

Авторы искренне благодарят кандидата педагогических наук, доцента кафедры общей физики Башкирского государственного педагогического университета К.В.Даутову, заместителя директора Уфимского авиационного техникума, кандидата педагогических наук В. Г. Иванова и преподавателей физики — Е.В.Комолову (Московский политехнический колледж) и Л. М. Гимадееву за внимательное прочтение рукописи и внесение ряда существенных замечаний по ее содержанию.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит переориентация образовательного процесса со знаниевой парадигмы в сторону деятельностной, поскольку качество образованности выпускника учреждений начального и среднего профессионального образования характеризуется тем, что знания и умения увязываются со способностями применять их в профессиональной деятельности.

Реализация этих положений диктует необходимость изменений в целевом, содержательном и процессуальном компонентах образовательного процесса. Цели должны носить деятельностно-ориентированный характер и фиксировать планируемые изменения в способах деятельности студента, и в первую очередь воспитания убежденности в познаваемости окружающего мира. В данном пособии по каждому разделу сформулированы цели по усвоению содержания учебного материала с точки зрения деятельности обучающегося. Учитывая различную потребность и готовность обучающихся учреждений начального и среднего профессионального образования технического профиля, рассмотрим три уровня усвоения содержания физических знаний, которые различаются по глубине изучения учебного материала, теоретическому уровню его представления и применяемому математическому аппарату.

1. Знание и понимание. Уровень предполагает общую ориентацию в учебном материале, понимание общего смысла (знания носят описательный характер). Знаний должно быть достаточно для того, чтобы получить хоть и упрощенное, но верное и целостное представление о предмете. На этом уровне происходит изучение физики как элемента общей культуры, формирование представлений о физической картине мира.

2. Применение знаний. Уровень включает в себя весь материал первого уровня, требует выяснения физического смысла понятий (явления, величины или закона), представляет виды Деятельности, требующие установления связей между понятиями. Но эти действия ограничиваются рамками одной темы или раздела. Проводится обсуждение полученных результатов и простых следствий из них, расширяются и углубляются знания по отдельным частям темы (раздела) в целях создания более полной картины изучаемых явлений. Приводятся примеры прак-

тического применения изученных явлений, законов, приборов, устройств. Курс физики изучается на уровне, достаточном для понимания и освоения общетехнических курсов, курсов общей и специальной технологий, других предметов профессионального цикла. Происходит овладение знаниями и умениями, необходимыми в повседневной жизни, позволяющими ориентироваться в окружающем мире и применять их на практике для сохранения окружающей среды и собственного здоровья.

3. Применение знаний (повышенный уровень). Данный уровень объединяет материалы предыдущих уровней и характеризуется наличием знаний теоретических положений, умением оперировать знаниями в вариативных ситуациях, требующих сложных мыслительных операций. Определяются границы (область, условия) применимости физических принципов, законов, теорий, рассматриваются экологические вопросы. Устанавливаются связи между однопорядковыми элементами содержания данной темы и предыдущих разделов. Самостоятельно планируется деятельность по экспериментальному измерению величин. Дополнительно рассматриваются также частные вопросы, представляющие самостоятельный или прикладной интерес, связанный с будущей профессией (специальностью), и способствующие повышению профессиональной культуры, формированию профессиональных компетенций. Самостоятельно оценивается информация, содержащаяся в СМИ, Интернете, научно-популярных статьях.

Изучение курса физики включает усвоение содержания физических фактов, явлений, величин, общих принципов и законов. Критерием системности содержания дисциплины является иерархичность элементов физических знаний, отраженная в структуре физической теории: основание, ядро, следствие. Реализация этого требования ведет к структурированию информационной части тем (разделов), что позволяет сжимать учебный материал. Для интеллектуального развития обучающихся содержание курса, его структуру и методику изучения материала необходимо строить соответственно циклу познания: факты — модель — следствия — эксперимент.

Особый эффект дает способ подачи основ физики с помощью структурно-логических схем (СЛС), содержащих систему элементов учебного материала (основных знаний), составляющих единое целое на основе причинно-следственных связей и правил формальной логики. Такой подход позволяет выделить систему знаний об исходных положениях и структуру физики, принципы формирования и добывания физических знаний, т.е. методологию этой науки. Логика профессионального становления обучающихся диктует необходимость использования целого ряда учебных действий: заполнения таблиц, построения графиков,

систематизации изученного материала на основе структуры физических теорий, цикла научного познания и т.п.

В процессе реализации принципа профессиональной направленности обучения нужно так организовать учебно-производственную деятельность обучающихся, чтобы они осознали необходимость изучения физики для успешного овладения знаниями и умениями профессионально-технического характера.

Высокая квалификация и серьезное образование в настоящее время являются одним из немногих законных инструментов создания достойных условий жизни человека.

Управление деятельностью обучающихся со стороны преподавателя при таких подходах состоит не в прямом воздействии, а в демонстрации и последовательной передаче обучающемуся некоторых общих принципов, оснований, исходя из которых он мог бы самостоятельно выводить собственные решения и осмысливать их. Благодаря этому самостоятельная познавательная деятельность обучающихся приобретает осознанный характер. Она оказывается ориентированной на решение основных задач, внимание обучающихся концентрируется на важнейших вопросах, у них формируется потребность в усвоении сущности новой темы.

Основная задача организации любого учебного процесса состоит в обеспечении обучаемому возможности получить качественные профессиональные знания по выбранному им профилю профессиональной деятельности.

Учебный процесс по физике представляет собой сложную педагогическую систему, главными элементами которой являются: программа, определяющая содержание и общую структуру курса физики; деятельность преподавателя и обучающихся; учебник; физический эксперимент и другие средства обучения. Ведущую роль в управлении учебным процессом играют преподаватель и программа. Отметим, что программа по физике разработана в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта среднего (полного) общего образования.

Освоение программы в общем объеме обеспечивает подготовку обучающихся по физике, требуемую для получения среднего (полного) общего образования. Программа служит основой для разработки рабочих программ с учетом профилей получаемого профессионального образования. В профильную составляющую программы входит профессионально направленное содержание, необходимое для понимания и освоения общетехнических курсов, предметов профессиональной культуры, формирование профессиональных компетенций. Например, для технического профиля, связанного с электротехникой и электроникой, предметной составляющей будет раздел «Электродинамика». Возможность дополнительного включения профессионально



значимого материала обеспечивается за счет резерва учебного времени.

Учебная дисциплина «Физика» базируется на знаниях, полученных обучающимися при изучении физики в основной школе и является фундаментом для последующей профессиональной деятельности. Преподаватель должен учитывать, что в основной школе физика изучается на уровне знакомства с физическими явлениями и законами природы.

Успешная реализация программы в значительной степени зависит от деятельности преподавателя, которая будет тем плодотворнее, чем лучше он ее спланирует. Таким образом, четкое планирование учебного процесса по физике (в частности, учебного материала) является необходимой предпосылкой успешного управления познавательной деятельностью обучающихся.

Особое внимание следует обратить на подготовку и планирование начальных занятий. Успех преподавания и авторитет преподавателя во многом зависят именно от первых занятий. Кроме того, на них происходит установление контактов между преподавателем и обучающимся.

Первые занятия следует провести так, чтобы вызвать интерес обучающихся к изучению физики. Преподавателю необходимо также объяснить обучающимся как самостоятельно работать с учебником, выполнять домашние задания, готовиться к занятиям, лабораторным и практическим работам; изложить все требования, которые он будет предъявлять к обучающимся в процессе изучения физики; уведомить о видах и сроках контроля знаний, умений, навыков.

Анализ литературы и опыт обучения показывают, что для успешной работы на одном из первых занятий следует провести входной контроль, чтобы определить уровень знаний обучающихся по материалу основной школы. Задания входного контроля составляются с учетом требований к уровню подготовки выпускников основной школы. На основании анализа входного контроля преподаватель делает выводы о коррекционной работе с обучающимися по ликвидации пробелов знаний по программе основной школы. Перед проведением входного контроля необходимо напомнить обучающимся, что если в заданиях нет специальных указаний на единицы величины, то все значения физических величин следует записывать в Международной системе единиц (СИ).

При изложении нового материала следует адаптировать его соответственно уровню подготовки контингента обучающихся. При этом доступность содержания не должна наносить ущерб научности. Важно ориентировать содержание на практическое применение, уделять большое внимание процессу целеполагания и рефлексии.

Преподавателю следует помнить, что важнейшей задачей обучения физике является не только сообщение знаний, но и формирование общеучебных умений, развитие навыков эксперимента и анализа его результатов.

Методика изучения курса физики подробно освещена в методической литературе, поэтому авторы не стремились описать методику изучения каждого физического понятия, а остановились лишь на отдельных вопросах, которые вызывают наибольшие трудности у обучающихся. Предложенный подход может служить основой для более полного и эффективного усвоения физики.

- Определение величины.
- Формула, выражающая связь данной величины с другими.
- Единица величины (наименование, обозначение, определение).
- Способы ее измерения.

### 3. О физическом законе

- Связь между какими явлениями (процессами) или физическими величинами выражает закон.
- Формулировка закона и его математическое выражение.
- Опыты, подтверждающие справедливость закона.
- Учет и использование закона на практике.
- Границы и условия применения закона на практике.

### 4. О физической теории

- Опытные (научные) факты, служащие основанием теории.
- Идеализированный объект — модель изучаемых явлений.
- Ядро теории — основные положения теории, ее основные уравнения.
- Следствия из теории.
- Эксперименты, подтверждающие теорию.
- Границы применения теории.

### 5. О приборах, механизмах, машинах

- Принцип действия (физические явления (закон), положенные в основу устройства).
- Схема устройства.
- Назначение.
- Примеры применения.

Большую роль играет овладение обучающимися правильным употреблением, произношением и написанием физических терминов. Этому способствует проведение физического диктанта.

Вопрос о формировании физических понятий — один из наиболее сложных в методике преподавания. Нередко обучающиеся овладевают физическими понятиями неполностью: они воспроизводят определения понятий правильно, но затрудняются воспользоваться своими знаниями при решении конкретных задач. Существенная причина этого, на наш взгляд, заключается в том, что физические понятия даются обучающимся в готовом виде и никак не связываются с человеческой деятельностью.

Рассмотрим, например, понятие «материальная точка». Именно в теме «Кинематика», учащиеся впервые знакомятся с понятием «модель — идеализированный объект» на примере ма-

териальной точки. С одной стороны, это понятие есть результат умственной деятельности, в ходе которой у множества реальных движущихся объектов выделены общие признаки, позволяющие при решении основной задачи механики пренебречь размерами, формой и другими несущественными для данного явления свойствами этих объектов. С другой стороны, понятие «материальная точка» используется при анализе реальных объектов в качестве эталона, определяющего возможность (или невозможность) применения к описанию движения этих объектов законов Ньютона. Первый вид деятельности связан с познавательным процессом, второй — с решением практических задач. Аналогичные виды деятельности связаны со всеми понятиями об идеализированных объектах: математическим маятником, колебательным контуром, идеальным газом и т.п.

Каждый вид деятельности реализуется через определенную систему действий. Так, использование понятия «материальная точка» в качестве эталона при анализе реальных объектов предполагает проверку наличия (или отсутствия) у них признаков, указанных в определении понятия, а именно: размеры тела должны быть значительно меньше расстояния, проходимого им, или расстояния от тела до наблюдателя.

Чтобы установить, соответствует ли реальный объект данному понятию, необходимо выполнить следующую систему действий:

- 1) назвать признак, характеризующий понятие «материальная точка»;
- 2) указать наибольший размер тела  $a$ ;
- 3) определить пройденное телом расстояние  $I$  (или расстояние  $L$  между телом и наблюдателем);
- 4) найти, во сколько раз расстояние  $I(L)$  больше размера тела  $a$ ;
- 5) оценить, удовлетворяет ли полученное отношение признаку  $Z(L) \gg a$ ;
- 6) сформулировать вывод.

При этом не следует требовать от обучающихся формального заучивания формулировок. Важно, чтобы они правильно понимали физический смысл явления (понятия) и выражали его своими словами. Например, можно дать следующие определения равномерного прямолинейного движения: «*Прямолинейным равномерным движением* называется движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения»; «*Прямолинейное движение*, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения, называется *равномерным*»; «*Прямолинейное движение* с постоянной скоростью называется *равномерным*». Следует отметить, что в приведенных определениях обучающиеся иногда опускают слово «любые», допуская ошибку.

При изучении темы «Кинематика» предполагается, что обучающиеся знают следующие вопросы векторной алгебры:

- 1) вектор; модуль вектора; равенство двух векторов;
- 2) проекция вектора на направление;
- 3) сложение векторов;
- 4) вычитание векторов;
- 5) умножение вектора на скаляр;
- 6) разложение вектора на составляющие.

Нужно объяснить обучающимся, что знание элементов векторной алгебры необходимо для понимания как материала темы «Кинематика», так и всего раздела «Механика» и многих других разделов курса физики.

При этом следует повторить:

- 1) правила округления чисел;
- 2) понятие значащей и незначащей цифры;
- 3) использование кратных и дольных единиц, а также умножение и деление на  $10^n$ .

Согласно результатам единого государственного экзамена (ЕГЭ) по физике, по теме «Кинематика» по некоторым элементам содержания большинство обучающихся показывают низкий уровень знаний. Например, они не понимают разницы между понятиями «путь» и «координата», считают, что это одно и то же. При объяснении этих понятий нужно обратить внимание обучающихся на то, что *путь* — это суммарная длина пройденных телом отрезков траектории, а *координата* зависит от выбора начала отчета. Для определения координаты движущегося тела в любой момент времени необходимо знать начальную координату. Координата движущегося тела может как увеличиваться, так и уменьшаться, может быть как положительной, так и отрицательной. Путь не может уменьшаться и не бывает отрицательным. Напомнить, что состояние тела в данный момент времени определяется его координатами и скоростью.

Большие затруднения вызывают задания на определение *относительной скорости*, особенно в случаях движения тела под углом  $90^\circ$  друг к другу. Поэтому следует повторить правила сложения векторов и геометрические соотношения для прямоугольного треугольника. Подчеркнуть, что идея относительности в механике проходит «красной нитью» через весь раздел (Курс физики): относительность механического движения и покоя, траектории, скорости и других величин.

Остановимся на вопросе описания *движения материальной точки*.

В учебнике в качестве методического подхода избрано описание механического движения с помощью радиуса-вектора  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$  и его изменения со временем (перемещение). При данном подходе основные кинематические характеристики вводятся сразу как

векторные величины (набираемые в тексте полужирным шрифтом). Усвоение векторного характера кинематических величин необходимо для понимания основных законов движения. Векторная запись уравнений движения в сочетании с соответствующими рисунками (схематическим изображением механических процессов) помогает раскрыть физическую сущность вопросов динамики. Выражения законов механики в векторной форме являются самыми общими и не зависят от выбора системы отсчета. *Закон движения* — это уравнение (несколько уравнений), позволяющее определить в любой момент времени положение движущегося тела в заранее выбранной системе координат.

При решении задач закон движения удобнее записывать в координатной форме — как проекции вектора. Систему координат необходимо выбирать в зависимости от условий задачи, чтобы математическое решение было упрощено. Следует обратить внимание на то, что законы движения в координатной форме содержат не путь, проходимый движущимся телом, а только его координаты.

Если закон движения известен, то можно рассчитать и построить траекторию движения тела, найти кинематические характеристики — скорость и ускорение (их модуль и направление). С другой стороны, если известны скорость или ускорение как функции времени и начальные условия (координаты и скорость в начальный момент времени), то можно найти закон движения.

Особое внимание следует уделить формированию учебных умений, навыков и способов деятельности. В частности, тема «Кинематика» позволяет ознакомить и научить обучающихся переводу информации из одной знаковой системы в другую на примере разных способов задания характера движения тел. Например, обучающийся должен уметь читать как уравнения, определяющие зависимость скорости, координаты или пути от времени в символическом виде, так и соответствующие им графики.

Умение читать графики функций (находить значения по оси абсцисс или ординат, коэффициент пропорциональности и т.п.), соотносить символическую запись закона (формулы) с соответствующим графиком, «перестраивать» график из одной системы координат в другую, можно приобрести при решении задач с использованием графиков. Целесообразно предложить учащимся следующий порядок решения задач такого типа.

### Алгоритм решения задач

1. Сделайте краткую запись условия задачи, выразив все заданные величины в СИ.
2. Проанализировав условия задачи, выясните характер движения тела:

- прямолинейное или криволинейное;
- равномерное или равнопеременное (равноускоренное или равнозамедленное).

3. Выберите систему отсчета: тело отсчета, систему координат и начало отсчета времени. Целесообразно ось абсцисс  $Ox$  направить таким образом, чтобы она совпадала с направлением вектора перемещения. Ось ординат  $Oy$  всегда перпендикулярна оси  $Ox$ .

4. Изобразите траекторию движения тела в выбранной системе отсчета, покажите на рисунке направления перемещения, скорости, ускорения.

### Аналитический способ

- Запишите основные кинематические уравнения в векторной форме.
- Запишите уравнения в проекциях на оси координат.
- Получите систему уравнений в скалярной форме. Число уравнений должно быть равно числу неизвестных величин.
- Решите составленную систему уравнений в общем виде, получите расчетные формулы.
- Подставьте данные физические величины в расчетную формулу, вычислите значения искомых величин, соблюдая правила приближенных вычислений.
- Проанализируйте полученные ответы.

### Графический способ

- Постройте графическую зависимость пути или координат от времени (*указание*: путь не может быть отрицательным и уменьшаться в процессе движения; график всегда начинается в точке  $t = 0, s = 0$ ; график зависимости координаты от времени начинается в точке  $t = 0, x = x_0$ ).
- Постройте графическую зависимость модуля скорости от времени (*указание*: используя график, можно определить: а) путь, пройденный телом за время  $t$ , как площадь  $s$ , ограниченную графиком, осями координат и прямой  $t = t$  б) ускорение как тангенс угла наклона графика модуля скорости к оси  $Ox$ . По графикам скоростей можно сравнивать ускорения тел).

При изложении элементов содержания «Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью», «Центростремительное ускорение» необходимо акцентировать внимание обучающихся на вопросе: почему, рассматривая равномерное движение материальной точки (тела) по окружности, говорим об ускорении точки, т.е. центростремительном ускорении?

Одним из важнейших критериев глубокого овладения основными понятиями и законами физической науки является их

Таблица 1. Примеры межпредметных связей

Дисциплина	Вопросы межпредметного содержания
Математика	Действия с векторами, нахождение проекций векторов, вычисление погрешностей
Биология	Антропометрия (рост, динамометрия кистей рук, масса тела), живые организмы в поле тяготения
География	Приливы и отливы, направления течения воды в реках
Экология	Выпадение вредных частиц пыли и дыма из атмосферы на Землю и их воздействие на окружающую среду и человека
Техническая механика	Скорость и перемещение деталей металлорежущих и других станков, преобразование вращательного движения в возвратно-поступательное, работа кривошипно-шатунного механизма (для иллюстрации прямолинейного и криволинейного движений точки, относительности формы траектории при переходе от одной системы отсчета к другой, пути и перемещения, средней и мгновенной скорости, ускорения и частоты вращения и т.д.)

осознанное использование в предметах общетехнического и специального циклов. В общетехнических и специальных предметах понятия и законы, изучаемые в курсе физики, обычно уточняются (конкретизируются), обобщаются и развиваются. Например, некоторые понятия из раздела «Механика» курса физики переносятся в дисциплину «Техническая механика» без изменения или с некоторыми уточнениями определений: механическое движение, материальная точка, система отсчета, перемещение, траектория, различные виды скоростей, ускорение, центростремительное ускорение. Ряд понятий развивается в процессе изучения данной дисциплины: мгновенная скорость, линейная скорость, угловая скорость, различные виды ускорений.

В данной теме следует рассмотреть вопросы межпредметного содержания (табл. 1).

### Систематизация учебного материала

Системность знаний — один из показателей их качества, который способствует развитию творческого мышления, помогает научиться самостоятельно приобретать новые знания.

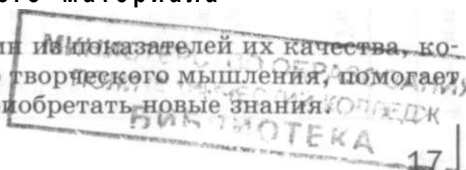




Таблица 2. Кинематические характеристики различных движений

Движение		Скорость	Ускорение	Пройденный путь	Координаты	
Прямолинейное	Равномерное	$v_0 = \text{const}$	$a = 0$			
	Равноускоренное	$v_0 = 0$	$v_0 \neq \text{const}$	$a \neq 0$ $a > 0$		
		$v_0 \neq 0$	То же	То же		
	Равнозамедленное	$v_0 = 0$	»	$a \neq 0$ $a < 0$		
		$v_0 \neq 0$	»	То же		
	Свободное падение	$v_0 = 0$	»	$a = g$		
$v_0 \neq 0$		»	То же			

Криволинейное	Движение тела, брошенного вертикально вверх	$v = v_0 - gt$	$a = -g$	$s = h_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$	
	Движение тела, брошенного горизонтально	$v_x = v_0 = \text{const}$ $v_y = gt$ $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$	$a_x = 0$ $a_y = g$	$s = v_0 t$ $s = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$	$x = v_0 t$ $y = \frac{gt^2}{2}$
	Движение тела, брошенного под углом к горизонту	$v_x = v_0 \cos \alpha = \text{const}$ $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$ $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$	$a_x = 0$ $a_y = -g$	$s = v_0 t \cos \alpha$ $s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ $H = \frac{v_0^2 \sin^2 2\alpha}{2g}$	$x = v_0 t \cos \alpha$ $y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$
	Равномерное движение по окружности	Линейная $v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu$ ; угловая $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$	$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$	$s = vt$ $\varphi = \omega t = 2\pi\nu t$	$x = R \cos \omega t$ $y = R \sin \omega t$

Обобщение и систематизацию можно проводить различными способами, например: составлением таблиц, поиском аналогий и др.

Одним из способов систематизации знаний является классификация — вид систематизации, при котором объединение объектов происходит на базе определенных существенных признаков, что позволяет выделить основное, общее, и объединяет объекты в систему (родовые признаки) с их специфическими различиями (видовые признаки). Примером классификации служит систематизация знаний о механическом движении, в процессе которой выделяются по различным признакам разные виды механического движения: в зависимости от формы траектории, характера изменения скорости.

В заключение изучения темы «Кинематика» можно предложить обучающимся заполнить таблицу кинематических характеристик различных движений (табл. 2).

В зависимости от реальных возможностей обучающихся можно предложить несколько вариантов заполнения таблицы:

1) заполнить все графы, относящиеся, например, к криволинейному движению, остальные графы оставить пустыми;

2) выборочно заполнить графы, относящиеся к различным видам движения;

3) оставить незаполненными все графы таблицы;

4) привести незаполненную таблицу в начале изучения темы «Кинематика» и заполнять ее постепенно, по мере изучения материала.

По усмотрению преподавателя таблицу можно как расширить, т.е. внести дополнительные графы, так и сократить или изменить.

## ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ НЬЮТОНА (гл. 2)

### Уровни усвоения содержания учебного материала

#### 1. Знание и понимание

- Дайте определения физических величин: *масса*, *сила*.
- Укажите единицы перечисленных величин.
- Выпишите и сформулируйте законы Ньютона, закон всемирного тяготения, закон Гука.
- Приведите примеры опытов, позволяющих проверить закон всемирного тяготения.
- Дайте понятие веса тела и назовите условия невесомости тел.
- Опишите особенности сил механики.

## 2. Применение знаний (базовый уровень)

- Установите связи между величинами, входящими в законы динамики.
- Раскройте физический смысл физических величин: *масса, сила, сила тяжести, сила упругости, сила трения.*
- † Приведите примеры опытов, подтверждающих справедливость законов Ньютона, закона всемирного тяготения.
- Приведите примеры практического применения изученного материала.

## 3. Применение знаний (повышенный уровень)

- Установите связи между величинами, входящими в основные формулы кинематики и законы динамики.
- Раскройте содержание величин, законов динамики в соответствии с обобщенными планами.
- Используя теоретическую модель, объясните независимость ускорения от массы тел при их свободном падении.
- Разработайте план, возможную систему действий и конструкцию экспериментального определения основных величин динамики.
- Укажите границы (область, условия) применимости уравнений, входящих в ядро классической механики.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### Методические рекомендации

В соответствии с диалектическим принципом восхождения от абстрактного к конкретному тему целесообразно открывать блок-схемой, представляющей в сжатом виде содержание учебного материала (рис. 1).

Изучение — процесс овладения обучающимся новым для него учебным материалом, заключающийся в получении, переработке и запоминании определенной информации, повышающей осведомленность обучающегося.

При изучении *первого закона Ньютона* следует обратить внимание на следующее:

- закон справедлив лишь для материальных точек. Закон выполняется для реальных тел, если они движутся поступательно;



Рис. 1. Структура и содержание динамики

- закон дает определение особого вида систем отсчета — инерциальных систем. *Инерциальная система отсчета* — это основное понятие механики;
- в природе не существует строго равномерных и прямолинейных движений, длящихся сколь угодно долго, так как нельзя исключить действие как различных сил сопротивления, так и гравитационного и электромагнитного полей;
- покой и равномерное прямолинейное движение в законе выступают как равноправные. Это свидетельствует о том, что, с одной стороны, покой и движение относительны, а с другой — все системы отсчета, относительно которых тело покоится или движется равномерно и прямолинейно, являются инерциальными. Все инерциальные системы отсчета — физически эквивалентны, что подтверждается опытом;
- закон дает понятие фундаментального свойства тел — *инертности*, т.е. возможности сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения относительно произвольной инерциальной системы отсчета.

Инертность тел проявляется при попытке изменить их состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Скорость тела нельзя изменить мгновенно, для изменения скорости требуется определенное время.

Само название темы «Динамика» говорит о том, что фундаментальным понятием этой темы является сила.

При формировании понятия силы можно выделить следующие этапы:

I — повторение основных положений о силе, полученных в школе;

II — определение понятия силы как количественной характеристики действия одного тела на другое. Этот этап формирования понятия силы тесно связан с изучением второго закона Ньютона;

III — рассмотрение понятий «действие» и «противодействие». Этот этап связан с изучением третьего закона Ньютона. При изучении третьего закона в отличие от второго в равной степени рассматривают оба тела. При взаимодействии двух тел действие первого тела на второе можно назвать «действием» ( $F_{12}$ ), а второго на первое — «противодействием» ( $F_{21}$ ) и наоборот. Важно довести до понимания обучающихся тот факт, что эти силы нельзя складывать и не следует их путать с уравновешенными силами. Уравновешенные силы приложены к одному телу, силы «действия» и «противодействия» — к разным телам: точки их приложения не следует (нельзя!) совмещать. Важно всю систему взаимодействующих тел расчленять на пары, в которых тела непосредственно действуют друг на друга:

- человек — Земля;
- лошадь — телега, лошадь — Земля, телега — Земля;
- тепловоз — вагон, вагон — Земля, тепловоз — Земля и т.д.;

IV — рассмотрение следующих сил: тяготения, упругости, трения. Необходимо обратить внимание на то, что гравитационные силы проявляются только во взаимном притяжении тел на расстоянии. Силу упругости рассматривают как результат деформации, а деформацию — как следствие неодинаковых ускорений, которые получают частицы тел при столкновении. При этом необходимо показать последовательность образования деформации и сил упругости. Силы упругости всегда возникают при непосредственном взаимодействии тел. Направлены они перпендикулярно поверхности соприкосновения тел (деформированного тела), а их модуль находят по закону Гука:  $F = -kx$ .

По программе данного курса физики предусмотрено рассмотрение только *силы трения скольжения*, которая связана с нормальной силой упругости опоры  $N$  (*силой нормального давления*) соотношением  $F = \mu N$ . Необходимо обратить внимание,

что это соотношение скалярное. Сила трения скольжения всегда направлена в сторону, противоположную направлению движения. Только при малых относительных скоростях движения тел силу трения скольжения можно считать постоянной и равной силе трения покоя. Кроме того, модуль силы трения обычно меньше модуля силы реакции опоры (модуля силы нормального давления), поэтому любое тело легче перемещать волоком, чем поднимать или переносить.

В ходе изучения видов взаимодействия — сил в механике (гравитационных, упругости, сопротивления) выявляется зависимость их от взаимного расположения тел и скорости движения одного тела относительно другого. После введения гравитационных сил изучают закон всемирного тяготения, дают понятие о силе тяжести, рассматривают движения, в которых изменение скорости происходит в результате действия сил тяжести. Понятие веса тела вводят как следствие действия силы тяжести. Далее рассматривают силу трения и изменение скорости движущегося тела в результате ее действия. Завершают рассмотрение видов сил в механике изучением силы упругости и закона Гука. Следует показать, что гравитационные силы и силы упругости являются функцией расстояния между взаимодействующими телами, а силы трения — функцией относительной скорости.

Необходимо предупредить ошибку, что первый закон Ньютона является следствием второго. Она основана на том, что когда равнодействующая всех сил равна нулю ( $F = 0$ ), то и ускорение  $a = 0$ , т. е. тело либо движется равномерно и прямолинейно ( $v = \text{const}$ ), либо покоится ( $v = 0$ ). Необходимо обратить внимание обучающихся на то, что нельзя первый закон Ньютона рассматривать как следствие и что приведенное выше рассуждение свидетельствует о тесной связи законов Ньютона между собой. Поскольку первый закон Ньютона вступает в противоречие с жизненным опытом обучающихся, это обстоятельство позволяет изучать его проблемно и тем самым активизировать учебный процесс.

Главное утверждение механики Ньютона свидетельствует о том, что изменение скорости тела всегда вызывается воздействием на данное тело каких-либо других тел. Это означает, что ускорение тела в данный момент времени однозначно определяется расположением окружающих тел и при их фиксированном положении не может быть любым.

Вектор скорости в данный момент в данной точке пространства может быть любым в зависимости от того, что происходило с телом в предшествующие моменты времени, т. е. однозначно не определяется воздействием окружающих тел. Это легко объяснить на примере движения тела, брошенного под углом к горизонту. При этом движении сила тяжести, как и ускорение  $g$ ,

все время направлена вниз. Скорость направлена по касательной к траектории, образует с силой некоторый угол, который при движении тела изменяется.

Таким образом, сила определяет изменение скорости, т.е. ускорение, а не скорость. Покоящееся тело приобретает определенную скорость под действием силы за некоторый промежуток времени, а ускорение возникает одновременно с началом действия силы. Векторы равнодействующей силы и ускорения сонаправлены.

Для правильного применения второго закона Ньютона для решения задач необходимо научить обучающихся переходить от векторной формы уравнения движения к его скалярной форме, а также выявлять и обозначать на чертеже все силы, действующие на тело.

Второй закон Ньютона, в формулировках которого ничего не говорится ни о точках приложения сил, ни о размере и форме тел, строго говоря, справедлив только для материальных точек либо для твердых тел, движущихся поступательно. При изучении законов Ньютона (законы динамики твердого тела в данной программе не изучаются) можно считать, что поступательное движение (если оно не оговорено в условии задачи) возникает тогда, когда линии действия всех сил или результирующей силы проходят через *центр масс тела*. При использовании законов Ньютона особое внимание надо уделять анализу сил, действующих на рассматриваемое тело. Этот анализ должен включать: 1) происхождение сил — в результате взаимодействия с каким телом возникла данная сила; 2) природу сил — тяготение, упругость, трение; 3) характер сил — от каких величин и как зависит данная сила.

При описании движения тел, связанных между собой, второй закон Ньютона целесообразно применять к каждому телу в отдельности, установив предварительно связь между координатами и кинематическими параметрами этих тел. При этом часто приходится накладывать дополнительные условия на характер связей.

Рассматривая движение тела по окружности, нужно объяснить, что *центростремительная сила* — это равнодействующая всех реально существующих сил, действующих на тело.

В разделе «Механика» решаются две основные задачи: прямая и обратная.

*Основная (прямая) задача механики* заключается в нахождении координаты и скорости тела в любой момент времени, если известны его координаты и скорость в начальный момент времени и действующие на него силы. Например, расчет траектории и скорости космических кораблей в любой момент времени с учетом влияния Земли и других космических объектов (планет, Луны и т.д.).

*Основная (обратная) задача механики* заключается в нахождении сил по известной зависимости координат, скоростей или ускорений от времени. Решая обратную задачу, И.Ньютон по известным кинематическим законам движения планет (*законам Кеплера*) определил *силу тяготения*.

Для правильного выбора формы и размеров, а также материалов, обеспечивающих необходимую прочность различных машин и механизмов, конструкторы решают обратную задачу. По заданным условиям работы деталей машины или механизма рассчитывают действующие на них силы. При решении сложных задач механики используются ЭВМ.

Содержание учебного материала предопределяет пути осуществления принципа профессиональной направленности преподавания физики. Например, понятия из области классической механики важны для формирования у обучающихся необходимых знаний, умений и навыков, так как техника, основанная на использовании законов механики, имеет и будет иметь большое значение в будущем. Поэтому усвоение обучающимися в учреждениях начального и среднего профессионального образования основных явлений, физических величин и законов механики (таких, как путь, перемещение, скорость, ускорение, масса, сила, энергия, работа, мощность и др.) является важнейшим условием их высокой профессиональной специальной подготовки. Знание основ механики необходимо не только для осознанного усвоения общетехнических (таких, как техническая механика) и многих специальных предметов, но и для изучения самого курса физики.

При анализе программ и учебников по общетехническим дисциплинам можно отметить, что такие понятия, как инерциальная система отсчета, масса, сила, коэффициенты трения (покоя и скольжения), механическая работа, работа постоянной силы на прямолинейном участке пути, потенциальная и кинетическая энергия, коэффициент полезного действия, переносятся из физики в техническую механику практически без изменений. Следовательно, знания обучающихся по этим понятиям, полученные при изучении курса физики, можно считать опорными и в дальнейшем активно использовать при овладении курсом технической механики.

В ряде случаев понятия из курса физики (различные виды сил, центр масс тела, импульс тела, импульс силы, работа переменной силы, кинетическая энергия вращающегося тела, мощность) в технической механике подвергаются уточнению, новой интерпретации. Так, понятие равнодействующей в курсе физики не охватывает всех случаев сложения сил, поэтому в технической механике вводится более обобщенное понятие главного вектора системы сил, учитывающего их пространственное рас-



Таблица 3. Пример реализации обобщенного плана изучения физических величин

Название и обозначение	Что характеризует	Единица	Прибор для измерения	Какая это величина: относительная или инвариантная
Скорость, $v$	Быстроту перемещения точки (тела)	м/с	Спидометр	Относительная
Сила, $F$	Является количественной мерой взаимодействия тел	Н	Динамометр	Инвариантная

Таблица 4. Силы в механике

Название силы	Природа взаимодействия	Формула для расчета	Зависимость		Направление	Сохраняет ли свое значение при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую	Условия применимости формулы
			от расстояния или относительной скорости	от массы взаимодействующих тел			
Сила тяготения	Гравитационная	$F_{\tau} = G \frac{mM}{R^2}$	Является функцией квадрата расстояния между взаимодействующими телами	Прямо пропорциональна массам взаимодействующих тел	Вдоль прямой, соединяющей взаимодействующие тела	Сохраняет, так как деформация и расстояние не изменяются	Материальные точки или сферически симметричные шары

Название силы	Природа взаимодействия	Формула для расчета	Зависимость		Направление	Сохраняет ли свое значение при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую	Условия применимости формулы
			от расстояния или относительной скорости	от массы взаимодействующих тел			
Сила упругости	Электромагнитная	$F_x = -kx$	Является функцией расстояния (зависит от деформации)	Не зависит	Противоположно направлению перемещения частиц при деформации	Сохраняет, так как деформация $x$ не изменяется	Достаточно малая величина деформации
Сила трения: а) сухого б) жидкого	Электромагнитная	$F_{тр} = -\mu x$	Является функцией скорости относительного движения $v_{отн}$	Не зависит	Противоположно направлению вектора скорости $v_{отн}$	Сохраняет, так как модуль относительной скорости $v_{отн}$ не изменяется	Формула $F_{тр} = -\mu N$ выполняется приближенно, так как сила сухого трения зависит от скорости

положение. В технической механике обучающиеся знакомятся с аналитическим способом определения равнодействующей, с нахождением как равнодействующей, так и главного вектора пространственной системы сил, что приводит к развитию и обобщению понятий.

Наряду с развитием и обобщением понятий курса физики . технической механике вводятся и новые понятия, расширяющие познания обучающихся в области приложений классической механики: пара сил, момент пары сил, главный момент системы сил, сила инерции (принцип Даламбера) и многие другие. Происходит также и конкретизация понятий, например силы реакции и силы инерции. Таким образом, в процессе изучения технической механики раздвигаются границы знаний и умений обучающихся, приобретенных ими еще в процессе изучения классической механики. Тем самым реализуются принципы преемственности и развивающего обучения, что и ведет к повышению эффективности процесса обучения.

### **Систематизация учебного материала**

Систематизацию знаний о физических величинах можно осуществить с помощью табл. 3 и 4 [22, с. 16].

## **ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ (гл. 3)**

### **Уровни усвоения содержания учебного материала**

#### **1. Знание и понимание**

- Дайте определения физических величин: *импульс, работа, мощность, энергия.*
- Укажите единицы перечисленных величин.
- Выпишите и сформулируйте законы сохранения импульса и энергии, отражающие основное содержание данной темы.

#### **2- Применение знаний (базовый уровень)**

- Установите связи между величинами, входящими в законы сохранения импульса и энергии.
- " Раскройте физический смысл величин: *импульс, работа, энергия, мощность.*
- Приведите примеры опытов, позволяющих проверить законы сохранения импульса и энергии.

### 3. Применение знаний (повышенный уровень)

- Установите связи между величинами, входящими в основные формулы кинематики и законы динамики и сохранения.
- Раскройте содержание величин, законов сохранения импульса и энергии в соответствии с обобщенными планами.
- Используя теоретическую модель, объясните независимость ускорения от массы тел при их свободном падении.
- Разработайте план, возможную систему действий и конструкцию экспериментального определения основных величин динамики.
- Укажите границы (область, условия) применимости законов, входящих в ядро классической механики.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

#### Методические рекомендации

Материал раздела «Механика» группируется вокруг законов сохранения импульса и энергии, что вызвано определяющим значением этих законов в современном естествознании. Эти законы связаны со свойствами пространства и времени (*закон сохранения энергии* — с однородностью времени, *закон сохранения импульса* — с однородностью пространства). Важность изучения законов сохранения определяется их всеобщностью, применимостью ко всем явлениям природы, а не только к механическим явлениям.

*Закон сохранения импульса* можно применять только к замкнутым системам, т.е. к системам тел, на которые не действуют внешние силы (либо векторная сумма внешних сил равна нулю). Природа внутренних сил не является существенной, к числу этих сил могут, например, относиться и силы трения. При составлении уравнений на основании закона сохранения импульса следует обращать внимание на векторный характер закона и на то, что скорости всех рассматриваемых тел должны отсчитываться относительно одной и той же системы отсчета.

Закон сохранения импульса проще всего рассматривать на примере замкнутой системы двух тел. Сначала следует показать, что импульс системы тел могут изменить только внешние силы. Обратите внимание, что изменение импульса системы пропорционально сумме внешних сил и совпадает с ней по на-

правлению (согласно второму закону Ньютона). Внутренние силы, изменяя импульсы отдельных тел системы, не изменяют суммарный импульс системы (на основании третьего закона Ньютона).

Понятие *импульс тела* отражает связь материи и движения, так как импульс определяется как произведение *массы* — характеристики материального объекта и *скорости* — характеристики движения. Смысл многих величин раскрывают через систему операций, которые становятся со временем очевидными (отнесение к единице, взятие производной и т.п.). В отличие от этого математическая структура понятия *работа* (произведение двух величин, относящихся к различным объектам) не позволяет дать простую физическую интерпретацию. До сих пор не найдено удовлетворительного во всех отношениях физического определения понятию работы, поэтому ограничиваются формально-математическим. Работа силы характеризует процесс, энергия — состояние механической системы (при рассмотрении механических процессов).

Формирование понятия механической *работы* ( $A$ ) можно условно разделить на пять этапов [11]:

I — повторить первоначальные представления о работе, полученные в школе; знания о механической работе как физической величине, которая вычисляется по формуле  $A = Fs$ ;

II — расширить и уточнить определение механической работы  $A = .Fs \cos \alpha$  (когда сила не меняется в каждой точке траектории). Если сила зависит, например, от относительной скорости (для силы трения), то суммирование элементарных работ не приводит к указанной формуле и работа силы трения определяется формулой  $A = FI$ , т.е. зависит от пути, а не от перемещения. Далее рассматривают работу силы на конечном перемещении (на примере нескольких частных случаев). При этом всегда нужно знать, о работе какой силы идет речь;

III — рассмотреть работу потенциальных сил (гравитационных и упругости); изобразить графически и вычислить работу для случаев, когда сила постоянна и когда она меняется;

IV — углубить и расширить понятие *мощности* ( $N$ ), которое обучающиеся изучали в школе. Наряду с раскрытием содержания понятия средней и мгновенной мощности целесообразно организовать работу обучающихся с таблицами из справочников мощностей различных двигателей, устройств и т.п.;

V — раскрыть относительный характер работы силы. Подвести обучающихся к пониманию, что работа силы зависит от выбора системы отсчета, и обсудить конкретные примеры. Например, совершается ли работа силой упругости троса, связывающего катер и баржу в системе отсчета, связанной с Землей; с баржей; с водой?

Данное в учебнике определение *энергии* как единой меры различных форм движения и взаимодействия материи представляет собой достаточно глубокое обобщение, к которому следует вести обучающихся в направлении накопления знаний, развития мышления и т.д.

Важно, чтобы обучающиеся усвоили, что *потенциальная энергия* ( $E_n$ ) — это энергия взаимодействия двух и более тел. Иначе говоря, понятие потенциальной энергии относится к системе тел, а не к одному (изолированному) телу. Обычно при выводе формулы, связывающей изменение потенциальной энергии с работой сил, одно из тел системы принимают за неподвижное. Например, при рассмотрении падения груза на Землю под действием силы тяжести смещением Земли можно пренебречь.

Поэтому работу сил взаимодействия между Землей и грузом сводят к работе только одной силы, действующей на груз. При рассмотрении сжатия или растяжения пружины не учитывают смещение Земли (конец пружины, который скреплен с неподвижным телом, фактически скреплен с Землей). Работу в этом случае совершает лишь сила упругости деформированной пружины, приложенная к телу. Из-за этого потенциальную энергию системы двух тел обучающиеся привыкают рассматривать как энергию одного тела. Чтобы избежать указанных осложнений, правильнее во всех случаях раскрывать следующее: изменение потенциальной энергии двух тел, взаимодействующих с силами, зависящими только от расстояния между телами, равно работе этих сил, взятых с противоположным знаком ( $\Delta E_n = -A$ )

Следует на примерах показать, что значения потенциальной энергии зависят от выбора начала ее отсчета и что произвольность выбора нулевого уровня не влияет на изменение энергии. Кроме того, необходимо обосновать, что потенциальная энергия не зависит от выбора инерциальной системы отсчета, так как является функцией расстояния (координат) между взаимодействующими телами, и что внешние силы непосредственно изменяют лишь *кинетическую энергию* ( $E_k$ ) тел системы, но не потенциальную энергию взаимодействия этих тел. Изменение потенциальной энергии системы определяется работой сил взаимодействия (внутренних сил).

*Полной механической энергией* системы тел принято называть сумму кинетической энергии всех тел системы, потенциальной энергии их взаимодействия и потенциальной энергии тел системы во внешнем консервативном (потенциальном) поле. Система тел, механическая энергия которой постоянна, называется *консервативной*. Условие консервативности — отсутствие перехода механической энергии в другие виды энергии и обмена

энергией с телами, не принадлежащими данной системе. Первое условие выполняется тогда, когда между телами системы действуют силы, модуль и направление которых зависят только от координат взаимодействующих тел, т.е. консервативные силы, либо когда внутренние неконсервативные силы не совершают работу (неконсервативными силами являются, например, силы трения, силы, возникающие при неупругом ударе). Второе условие выполняется в тех случаях, когда алгебраическая сумма работ всех внешних сил, действующих на систему, за исключением, конечно, сил внешнего консервативного поля, равна нулю. В неконсервативных системах изменение полной механической энергии системы равно алгебраической сумме работ всех внешних сил и внутренних неконсервативных сил.

Если энергия системы включает потенциальную энергию тел во внешнем консервативном поле, то можно говорить о законе сохранения энергии одного тела, находящегося во внешнем консервативном поле, в частности — в поле тяжести Земли.

Подобное рассмотрение предполагает, что расчеты проводятся в системе отсчета, связанной со вторым телом, в данном случае — с Землей. Как уже отмечалось, при определении изменения энергии следует обращать внимание на то, что изменение потенциальной энергии тела во внешнем консервативном поле равно работе сил поля, взятой с обратным знаком. Сама потенциальная энергия не может быть вычислена без предварительного выбора начала отсчета потенциальной энергии.

При рассмотрении закона сохранения энергии следует обратить внимание на то, что при наличии трения работа этих сил ведет к уменьшению кинетической энергии системы. Но при этом под действием силы трения потенциальная энергия не изменяется, как это происходит в случае действия сил тяготения и сил упругости (консервативных сил). Это является следствием того, что силы трения не зависят от расстояния между взаимодействующими телами, а зависят от их относительных скоростей. Работа этих сил определяется формой траектории, и не зависит от начального и конечного положений тел в пространстве.

Используя законы сохранения (импульса и энергии), можно найти связь между параметрами движения тела (координатами, скоростями) или системы тел в различных состояниях. В некоторых случаях, когда характер сил взаимодействия (закон изменения силы со временем, время взаимодействия) неизвестен, только законы сохранения позволяют найти по известным параметрам (координаты, скорость) системы в одном состоянии ее параметры в другом состоянии. Подобная ситуация, в частности, имеет место при кратковременных взаимодействиях, таких, как удар, взрыв и т. п.

Таблица 5. Межпредметные связи

Тема курса физики	Понятия и законы, используемые при изучении темы	Учебные дисциплины и структурные элементы знаний, при изучении которых возникают межпредметные связи			Задачи межпредметного содержания
		предшествующие	сопутствующие	перспективные	
Законы сохранения	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Импульс тела</li> <li>■ Механическая работа</li> <li>■ Кинетическая и потенциальная энергия</li> <li>■ Законы сохранения импульса и механической энергии</li> </ul>	<p><b>Человекознание</b> Человек и различные виды энергии</p> <p><b>Биология</b> Движение кальмара, осьминога, каракатицы</p> <p><b>Экономическая география</b> Электроэнергетика. Типы электростанций и принципы их размещения</p>	<p><b>Биология</b> Общая характеристика обмена веществ и энергии. Взаимосвязь пластического и энергетического обмена. Расход энергии организмом</p>	<p><b>Биология</b> Круговорот веществ и превращение энергии в биосфере. Энергетический обмен в клетке. Фотосинтез</p> <p><b>Химия</b> Законы сохранения и превращения энергии при химических реакциях</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Какую работу совершил велосипедист, проехавший 100 км за 3 ч, если он развил среднюю мощность 400 Вт?</li> <li>■ Какую работу совершил штангист, толкнувший штангу массой 200 кг на высоту 2,2 м?</li> <li>■ Кальмар плывет со скоростью 2 м/с. Какой будет его скорость после выбрасывания 100 г воды со скоростью 20 м/с?</li> <li>■ За счет плотины ГЭС создана разность уровней воды 80 м. Определите мощность ГЭС, если расход воды 2000 м<sup>3</sup>/с, а КПД станции 0,75</li> </ul>



Во многих случаях два метода решения — использование законов Ньютона и законов сохранения — равноправны. Выбор метода и пути решения каждой конкретной задачи возможны только после детального качественного обсуждения условия задачи, начиная с анализа сил, действующих на каждое из тел. Такой анализ покажет, целесообразно ли рассматривать каждое тело в отдельности либо систему тел; возможно ли к выбранной системе применить тот или иной закон сохранения.

Пример реализации межпредметных связей в данной теме представлен в табл. 5 [16, с. 82].

### Систематизация учебного материала

Систематизация физических знаний может осуществляться на основе различных принципов, идей и на разных уровнях: уровне понятий, законов, теорий. Интересной и целесообразной в познавательном и воспитательном отношении является структура знания (на уровне теории), представленная в динамике цикла познания (рис. 2). Эта структура дает возможность не только повторить с обучающимися основные элементы учебного материала, но и показать их методологическую значимость.

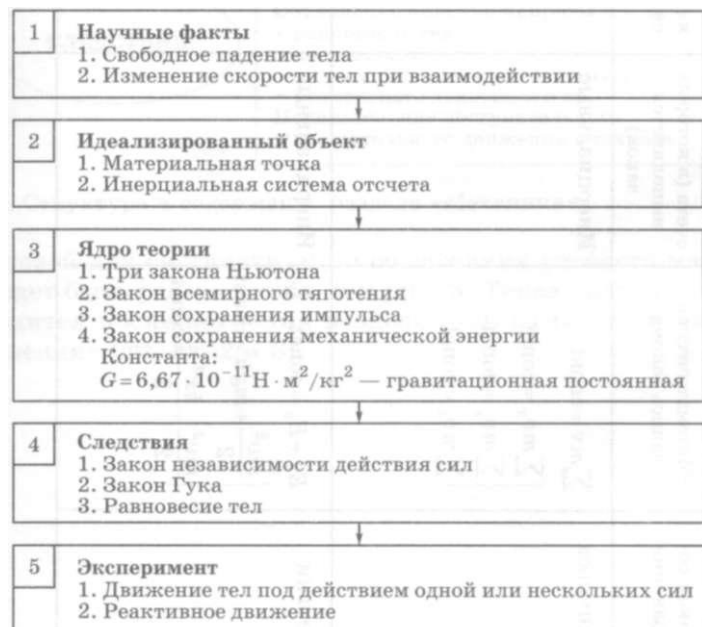


Рис. 2. Структура раздела «Механика»

Т а б л и ц а 6. Законы сохранения в механике

Закон сохранения	Математическая запись закона	Системы отсчета (в которых выполняется закон)	Требования, предъявляемые к внешним силам, действующим на систему тел	Внутренние силы, действующие в системе тел (какие должны быть)	Случаи нарушения законов сохранения
Импульса	$\sum m\mathbf{v} = \text{const}$ $\begin{cases} \sum mv_x = \text{const} \\ \sum mv_y = \text{const} \\ \sum mv_z = \text{const} \end{cases}$	Инерциальные	$\sum \mathbf{F} = 0$	Любые	Нет
Энергии	$E_k + E_n = \text{const}$ $\begin{cases} \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const} \\ \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \text{const} \end{cases}$	Инерциальные	$\sum A = 0$	Консервативные (потенциальные): <ul style="list-style-type: none"> <li>■ силы тяготения</li> <li>■ силы упругости</li> </ul>	Нет

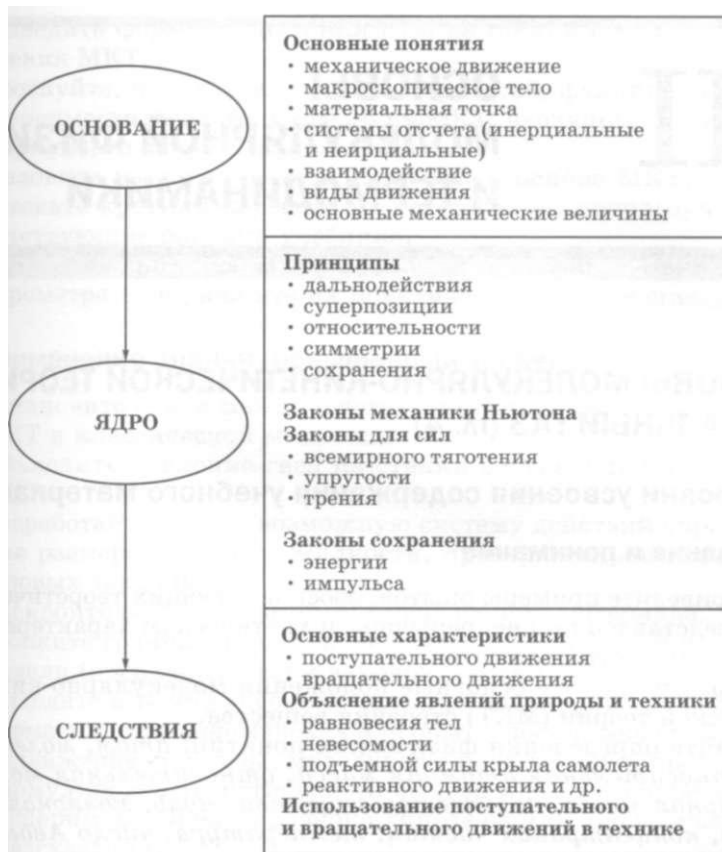


Рис. 3. Структура и содержание раздела «Механика»

Основой для систематизации содержания учебного материала может быть работа с табл. 6 и рис. 3. Такая систематизация проводится после изучения разделов «Динамика» и «Законы сохранения» (см. гл. 2 и 3).

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ.  
ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ (гл. 4)

## | Уровни усвоения содержания учебного материала

## 1. Знание и понимание

- Приведите примеры опытов, обосновывающих теоретические представления о непрерывном и хаотическом характере движения частиц вещества.
- Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ) строения вещества.
- Дайте определения физических понятий: *атом, молекула, относительная атомная масса, относительная молекулярная масса, количество вещества, моль, молярная масса, концентрация частиц, температура, число Авогадро, молярная газовая постоянная.*

**и** Укажите единицы перечисленных величин.

- Выпишите законы и формулы, отражающие основное содержание МКТ.
- Перечислите абстракции и методы познания, которые использованы при изучении данной теории.

## 2. Применение знаний (базовый уровень)

- Опишите основные этапы развития МКТ.
- Дайте определения физических понятий: *наиболее вероятная скорость, средняя арифметическая скорость, средняя квадратичная скорость движения молекул, длина свободного пробега молекул, эффективный диаметр молекул.*
- Выделите черты сходства и отличительные признаки статистического и термодинамического методов познания.
- Опишите природу и сферу действия молекулярных сил взаимодействия.

- Выведите формулу давления газа на стенки сосуда с точки зрения МКТ.
- Обоснуйте, используя метод размерностей, функциональные зависимости физических величин МКТ, входящих в основные формулы, и законы данной теории.
- Назовите научные факты, лежащие в основе МКТ, и подготовьте краткий пересказ их содержания, используя соответствующие рисунки учебника.
- Объясните принцип работы приборов: термометра, манометра, барометра — и укажите их практическое применение.

### 3. Применение знаний (повышенный уровень)

- Установите связи между основными формулами и законами МКТ и классической механики.
- Объясните давление газа на стенки сосуда с точки зрения МКТ.
- Разработайте план и возможную систему действий определения размеров молекул жидкости, проверки справедливости газовых законов.
- Раскройте область применения изученного материала.
- Укажите границы (область, условия) применимости научной модели (идеальный газ) и законов, входящих в МКТ.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### Методические рекомендации

Усвоение содержания курса физики — сложный психолого-педагогический процесс, в ходе которого обучающиеся на основе активной, сознательной деятельности усваивают знания, формируют умения и навыки. По этой причине одним из обязательных дидактических компонентов выступает актуализация эмпирического опыта, знаний и способов учебной деятельности, которые были приобретены к началу изучения данного раздела. В ходе его изучения необходимо актуализировать следующие знания:

- представления обучающихся о молекуле, атоме, ионе;
- наблюдения и опыты, подтверждающие существование мельчайших частиц вещества, их взаимодействие и движение;
- определение, формула и единицы измерения давления;
- понятие о кинетической и потенциальной энергии; температуре; видах передачи энергии; внутренней энергии (способы

ее измерения); количестве теплоты, удельной теплоемкости вещества, механической работе, законе сохранения и превращения энергии в механических процессах;

- свойства паров, жидкостей и твердых тел (характер движения и взаимодействия частиц в различных агрегатных состояниях) и их использование на практике.

Механическое и тепловое движение качественно отличаются друг от друга. *Механическое движение* — упорядоченное и обратимое, *тепловое* — хаотическое и необратимое. Знание молекулярно-кинетической теории позволяет объяснить суть процессов, происходящих внутри вещества, а также получить материалы с заданными свойствами. Тепловые явления широко распространены в природе и технике. Например, знания о закономерностях тепловой формы движения материи лежат в основе многих технологических процессов по ряду специальностей СПО машиностроительного, строительного, химического и других профилей. В разделе «Основы термодинамики и молекулярной физики» к основным понятиям, общим для формирования профессиональных знаний у обучающихся, следует отнести температуру, количество переданной теплоты, внутреннюю энергию и др. Для дальнейшего развития и конкретизации этих понятий имеется богатый материал в предметах общетехнического и специального циклов (например, «Основы термодинамики и теплотехники», «Технология металлов и конструкционные материалы» и т.д.).

Следует обратить внимание на то, что основное уравнение МКТ и выражения для средней длины свободного пробега молекул могут быть выведены исходя из упрощенной модели идеального газа. В этой модели: 1) действительное распределение по составляющим скоростей заменяется предположением, что молекулы движутся равновероятно в трех взаимно-перпендикулярных направлениях; 2) распределение молекул по модулю скорости заменяется предположением о равенстве модуля скорости у всех молекул. Первое из этих предположений как бы исключает столкновения молекул. Однако в процессе установления равновесия существенная роль принадлежит именно столкновению молекул. После того как равновесное состояние установилось, столкновения уже не могут изменить распределения скоростей, давления, температуры и других характеристик системы.

В разделе «Основы термодинамики и молекулярной физики» обучающиеся изучают поведение качественно нового материального объекта: системы, состоящей из большого числа частиц (молекул и атомов), новую, присущую именно этому объекту форму движения (тепловую) и соответствующий ей вид энергии (внутреннюю). Здесь обучающихся впервые знакомят со статистическими закономерностями, которые используются для описания

поведения большого числа частиц. Формирование статистических представлений позволяет понять смысл необратимости тепловых процессов. Именно *необратимость* является отличительным свойством тепловых процессов и позволяет говорить о тепловом равновесии, температуре, понять принцип работы тепловых машин. Задача преподавателя — рассмотреть в единстве два метода описания тепловых явлений и процессов: термодинамический (феноменологический), основанный на понятии энергии, и статистический, основанный на молекулярно-кинетических представлениях о строении вещества. При рассмотрении статистического и термодинамического методов необходимо четко разграничить знания, полученные эмпирически и в результате моделирования внутреннего строения вещества для изучения происходящих с ним явлений и процессов. Молекулярно-кинетическая теория и термодинамика взаимно дополняют друг друга, образуя единое целое, различаясь лишь методами исследований.

Исторически сложились два подхода к изучению тепловых явлений:

1) первый не предполагает рассмотрение внутреннего строения системы; с энергетической точки зрения описывается энергообмен между частями изучаемой системы и между самой системой и внешними телами. Данный метод называется *термодинамическим*, а понятия и законы — энергетическими, термодинамическими. В основе термодинамического метода лежат понятия: «термодинамическая система», «состояние термодинамической системы», «термодинамические параметры состояния» и «равновесное состояние». Параметры могут быть внешними и внутренними. Температура и давление, например, зависят только от состояния самой системы и не связаны с внешними условиями. Объем же зависит от внешних условий. Все законы получены эмпирически. Термодинамика — наука описательная, экспериментальная;

2) второй подход предусматривает изучение внутреннего строения системы с точки зрения поведения молекул, их движения, взаимодействия. Это предмет изучения МКТ, опирающийся на *статистический метод*. В настоящее время известно, что поведение всех микрообъектов подчиняется статистическим закономерностям. Причем в квантовой физике в отличие от классической статистические законы проявляются не только вследствие большого числа объектов и хаотичности их движения, но и в связи с самой природой квантовых объектов (с невозможностью одновременного точного определения координаты и скорости частицы). Следует подчеркнуть, что статистический метод является основой современной физики. Структура и содержание МКТ отражены на рис. 4 [22, с. 25].

Основными в данной главе являются следующие вопросы: молекулярно-кинетическая трактовка давления, кинетическая



Рис. 4. Структура и содержание молекулярно-кинетической теории

энергия хаотического движения молекул, распределение молекул по скоростям, расчет средних значений таких величин, как скорость, кинетическая энергия, длина свободного пробега, число столкновений молекул.

Для большого числа частиц действуют законы вероятностные, хотя каждая частица в отдельности подчиняется законам классическим. Макроскопические параметры состояния (давление, температура) имеют статистическое толкование, т.е. существуют только для большого числа частиц. На примере данных параметров газа следует раскрыть одну из диалектических категорий — причину и следствие. Например, изменение скорости движения или кинетической энергии (причина) вызывает изменение температуры молекул и давления газа (следствие). Молекулярно-кинетическая теория — объяснительная. Все законы получены на основе принятой модели, поэтому МКТ еще называют *модельной теорией*.

*Равновесное состояние* характеризуется неизменностью всех термодинамических параметров системы во времени и одинаковостью в пространстве в отсутствие внешних воздействий. К неравновесным процессам неприменимы уравнение состояния идеального газа и частные газовые законы, так как в этом случае параметры состояния различны для разных частей системы. Рав-



новесный процесс осуществляется тогда, когда время релаксации (время перехода системы из неравновесного состояния в равновесное) много меньше времени осуществления процесса.

В основе изучения МКТ лежат три основных положения, знакомых обучающимся. На данном этапе изучения физики их повторяют и изучают более глубоко. Главные экспериментальные доказательства положений: броуновское движение, диффузия, опыт Штерна. Основным из них является *броуновское движение*, которое изучается на модели и аналогии. Из рассмотрения опытов Броуна необходимо сделать следующие выводы:

- движение броуновских частиц вызывается ударами молекул вещества, в котором эти частицы взвешены;
- броуновское движение непрерывно и беспорядочно, оно зависит от свойств вещества, в котором частицы взвешены;
- движение броуновских частиц позволяет судить о движении молекул среды, в которой эти частицы находятся;
- броуновское движение доказывает существование молекул, их движение и непрерывный и хаотический характер этого движения.

Молекулярно-кинетическая теория согласует обратимость движения каждой молекулы с необратимостью тепловых явлений, т.е. показывает несводимость тепловой формы движения материи к механической. Необратимы диффузия, теплопроводность. Неупорядоченность молекул объясняет возникновение флуктуации, которое ведет к броуновскому движению.

Таким образом, все тепловые явления должны в конечном счете рассматриваться и описываться с точки зрения термодинамики и объясняться с точки зрения МКТ.

В соответствии с теоретическим обобщением основное содержание данного раздела, выражаемое через фундаментальные теории, можно представить в такой последовательности.

1. *Факты, основные положения*, подтвержденные экспериментом: броуновское движение, диффузия, масса и размеры молекул, силы взаимодействия атомов и молекул.

2. *Понятия*: температура, объем и давление, средняя квадратичная скорость молекул, идеальный газ.

3. *Модель идеального газа, ее характеристики*: газ состоит из материальных точек, которые движутся хаотически, взаимодействуют при соударениях как упругие шары и не взаимодействуют на расстоянии.

4. *Законы*: основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа, уравнение состояния идеального газа.

5. *Выводы теории и их практическое применение*: частные случаи уравнения состояния идеального газа (при постоянном значении одного из параметров — температуры, объема, давления) и их практическое применение в технике.

Чтобы облегчить обучающимся усвоение вывода основного уравнения МКТ газов, целесообразно представить последовательность выполняемых операций в виде логически структурной схемы. Такая схема может быть составлена вместе с обучающимися в процессе повторения вывода. При анализе уравнения необходимо обратить внимание обучающихся на то, что оно связывает макроскопический параметр состояния газа — давление с характеристиками отдельных молекул газа (массой молекул, средней квадратичной скоростью движения молекул и концентрацией молекул — микроскопическими параметрами). Это уравнение имеет смысл только для совокупности молекул и носит статистический характер. Основное уравнение МКТ связывает макроскопические параметры с микроскопическими и может быть записано в различных видах (они являются следствиями основного закона МКТ).

Необходимо установить причинно-следственные связи различных агрегатных состояний веществ. В твердом теле энергия взаимодействия частиц (энергия связи) много больше кинетической энергии их теплового движения, поэтому движение частиц твердого тела представляет собой колебания относительно узлов кристаллической решетки. Если кинетическая энергия теплового движения молекул много больше потенциальной энергии их взаимодействия, то движение молекул полностью беспорядочное и вещество существует в газообразном состоянии. Если кинетическая энергия теплового движения частиц сравнима с потенциальной энергией их взаимодействия, то вещество находится в жидком состоянии.

В практике обучения часто возникает вопрос: если уравнение МКТ получено для одноатомного газа, то справедливо ли оно для многоатомных газов? Следует отметить, что при выводе уравнения используется поступательное движение молекул, которое и определяет число столкновений со стенкой. Многоатомные газы отличаются от одноатомных тем, что у них кроме поступательного существуют вращательные и колебательные движения, которые не влияют на величину давления. Молекулы соударяются как единое тело и не расщепляются при этом. Значит, основное уравнение МКТ справедливо для всех видов идеального газа независимо от формы модели атома.

В качестве основных этапов формирования понятия *температуры* в курсе физики для учреждений начального и среднего профессионального образования (с точки зрения термодинамического и статистического подходов к ее формированию) можно выделить следующие [11]:

- при рассмотрении свойств теплового равновесия сначала вводится понятие температуры на качественном уровне;
- вводятся понятия абсолютной температуры и абсолютной шкалы температур;
- дается статистическое толкование температуры.

В учебном пособии понятие температуры — меры средней кинетической энергии поступательного движения молекул — введено как следствие основного уравнения кинетической теории газов. Связь этих величин между собой можно объяснить следующим образом. Переход двух тел к состоянию теплового равновесия характеризуется тем, что молекулы соприкасающихся тел сталкиваются между собой. При этом молекулы более нагретого тела передают часть своей энергии молекулам менее нагретого тела. С другой стороны, при контакте температура более нагретого тела уменьшается, а менее нагретого тела увеличивается до тех пор, пока температуры не сравняются. Следовательно, средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул и температура одинаково характеризуют процесс перехода к тепловому равновесию: средняя кинетическая энергия — микроскопически, а температура — макроскопически. Необходимо

обратить внимание на то, что формула  $T = \frac{2}{3} \frac{\langle E \rangle}{k}$  выражает связь двух подходов: статистического и феноменологического — к описанию свойств термодинамических систем.

Опыт преподавания показывает, что часто обучающиеся не усваивают научного толкования температуры, а понимают ее в бытовом смысле. Необходимо провести опыт с тремя сосудами, в которых находится вода с различными температурами. Одну руку опустить в холодную воду, другую — в горячую, затем обе руки — в теплую. Ощущение нагретости воды различное для каждой руки. Может ли «степень нагретости» быть объективной характеристикой? Нет. Начальное определение можно скорректировать так: температура — степень нагретости тела по определенной шкале.

Затем необходимо дать термодинамическое определение температуры. Вначале вводится понятие теплового равновесия. Тела, находящиеся в тепловом равновесии, имеют одну и ту же температуру. *Температура — характеристика теплового равновесия, функция состояния.* Из данного определения температуры невозможно определить метод ее измерения, но существуют определения физических величин, из которых следует способ измерения. Например, сила — мера взаимодействия. Есть способ измерения силы, основанный на взаимодействии тел. Температура не может непосредственно измеряться, как, например, масса. Для измерения температуры необходимы три составляющие.

1. *Термометрический признак:* т.е. надо найти такую физическую величину, которая линейно зависит от температуры (например, объем, давление газа, длина стержня и др.). Можно вернуться к этому вопросу при рассмотрении газовых законов и изучить устройство газового термометра.

2. *Термометрическое тело:* спирт, ртуть, термопара, полупроводник и т.д. При этом руководствуются удобством и прагматиз-

мом. Затем обучающиеся должны узнать, что теоретически самым лучшим термометрическим телом является идеальный газ.

3. Определенная *температурная шкала* с реперными точками. Необходимо рассмотреть две температурные шкалы: *международную практическую шкалу (шкалу Цельсия); термодинамическую температурную шкалу.*

Сложность измерения температуры заключается в том, что она является интенсивным параметром, т.е. не обладает свойством аддитивности (не складывается, как, например, метр или килограмм), поэтому ее нельзя сравнивать с эталоном. Для измерения используют зависимость свойств тела от температуры.

Рассмотрим введение статистического понятия температуры. Если смешать две группы молекул, их энергии в результате столкновений сравняются:  $\langle E_1 \rangle = \langle E_2 \rangle$ . Считая это равенство условием теплового равновесия и вводя характеристику теплового равновесия  $T$  и коэффициент пропорциональности  $R$ , из уравнения  $pV_\mu = \frac{2}{3} N_A \langle E \rangle$  получим  $pV_\mu = RT$  — уравнение

Менделеева — Клапейрона для 1 моль газов. Из последнего уравнения и  $pV_\mu = \frac{2N_A \langle E \rangle}{3}$  следует:  $\frac{2N_A \langle E \rangle}{3} = RT$ , откуда  $T = \frac{2N_A \langle E \rangle}{3R}$ .

Обозначим  $\frac{R}{N_A} = k$  — коэффициент Больцмана, тогда  $T = \frac{2 \langle E \rangle}{3 k}$ ,

следовательно, *температура тела — мера средней кинетической энергии поступательного движения его молекул.* Это один из способов введения статистического толкования температуры. При температуре  $T = 0$  прекращается поступательное движение молекул. Конечный вывод содержит определение температуры. Статистический характер температуры отражается в усредненном значении энергии молекулы. Связующим звеном между термодинамическим и статистическим подходами является постулат: *распределение, которое осуществляется наибольшим числом микросостояний, соответствует равновесному состоянию.*

Известно, что гипотеза превращается в теорию, если ее законы подтверждаются экспериментальными результатами. Следует перечислить те опыты, которые считаются в молекулярно-кинетической теории фундаментальными:

- *опыт Перрена* по наблюдению броуновского движения и определению числа Авогадро и коэффициента Больцмана (Нобелевская премия 1926 г.);
- *опыты Цартмана и Штерна* по определению скоростей молекул (О.Штерн — лауреат Нобелевской премии за опыты с молекулярными пучками, 1944 г.); использование М К Т для разработки теории диффузии и создание метода разделения

Таблица 7. Межпредметные связи темы

Тема курса физики	Понятия и законы, используемые при изучении темы	Учебные дисциплины и структурные элементы знаний, при изучении которых возникают межпредметные связи			Задачи межпредметного содержания
		предшествующие	сопутствующие	перспективные	
Основы молекулярно-кинетической теории	Температура, давление, влажность воздуха. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Уравнение Менделеева — Клапейрона. Законы Бойля — Мариотта, Гей-Люссака, Шарля	<p><b>Химия</b> Количество вещества. Моль — единица количества вещества. Число Авогадро. Молярная масса. Относительная молярная масса. Производство и применение химических веществ в технике.</p> <p><b>Биология</b> Дыхание растений, животных и человека. Дыхательные движения</p>	<p><b>Человекознание</b> Дыхание и здоровье. Оптимальный режим дыхания</p>	<p><b>Астрономия</b> Звездная плазма. Межзвездный газ</p>	<p>Объясните действие медицинского шприца при наборе лекарства. Объясните принцип действия автоклава. Почему человек при подъеме в горы испытывает недостаток кислорода? Какую полезную массу может поднять аэростат массой 1 т, если его оболочка объемом 1200 м<sup>3</sup> заполнена гелием при нормальных условиях? Какой объем займет пар при нормальных условиях, если испарить 1 л воды? Какую массу воздуха при нормальных условиях вдыхает человек за 1 ч, если объем его легких 4 л, а частота дыхания 20 вдохов в минуту?</p>

газа на компоненты по различию скоростей молекул. Так разделяют газ на изотопы, молекулы которых имеют разные массы, а значит, различные скорости.

Для обучающихся на электрорадиотехнических специальностях формирование понятия «температура» имеет особо важное значение, так как изучение зависимости электрической проводимости жидкостей и металлов, полупроводниковых и изоляционных материалов от температуры способствует углублению и развитию специальных знаний. Для будущих автомехаников важно знать температуру воспламенения топлива, температуру жидкости в системе охлаждения, температуру масла в системе смазки.

Пример реализации межпредметных связей отражен в табл. 7 [16].

При изучении свойств паров, жидкостей и твердых тел необходимо актуализировать межпредметные связи физики, химии и технических дисциплин. Например, типы связей в кристаллических решетках и производство и применение материалов в технике. На основе молекулярного взаимодействия можно объяснить прочность, пластичность, различные виды деформаций и закон Гука.

### Систематизация учебного материала

Систематизация знаний должна быть направлена на установление причинно-следственных связей между явлениями. Систематизация учебного материала может быть осуществлена при работе с табл. 8, а также на основе рис. 5.

Таблица 8. Газовые законы

Процесс	Постоянные параметры	Изменяющиеся параметры	Закон	Формула
Изотермический	$m, M, T$	$p, V$	Бойля — Мариотта	$pV = \text{const}$ $p_1V_1 = p_2V_2$
Изобарный	$m, M, p$	$V, T$	Гей-Люссака	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $V = V_0\alpha T$
Изохорный	$m, M, V$	$p, T$	Шарля	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $p = p_0\alpha T$

Процесс	Постоянные параметры	Изменяющиеся параметры	Закон	Формула
Изохорный	$m, M$	$p, V, T$	Уравнение Клапейрона	$\frac{pV}{T} = \text{const}$ $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$
		$p, V, T, m, M$	Уравнение Менделеева — Клапейрона	$pV = \frac{m}{M} RT$

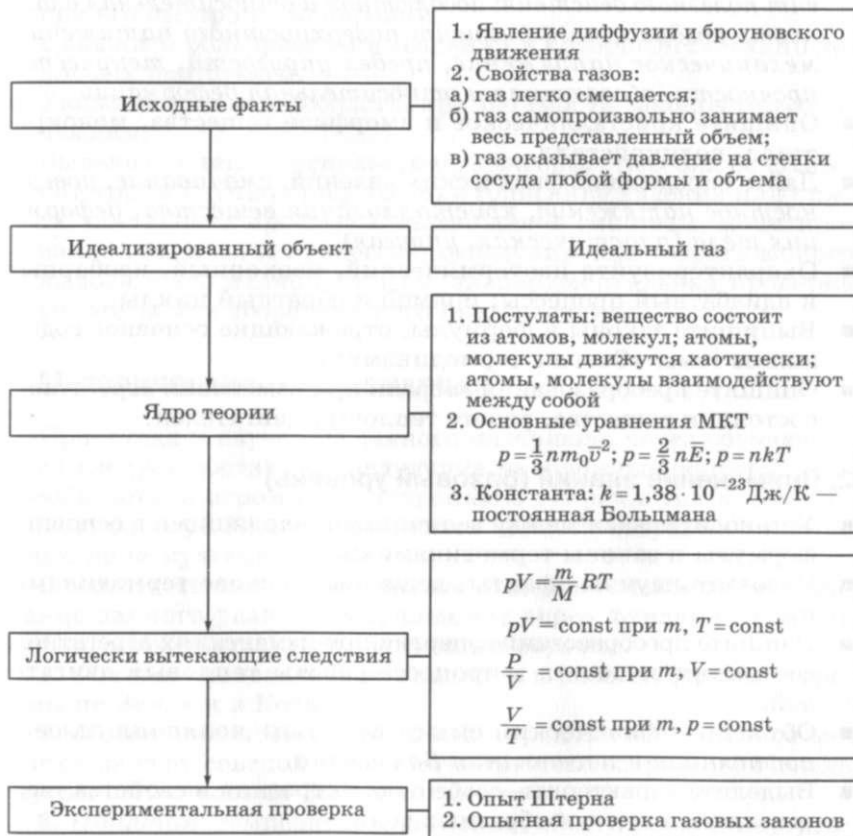


Рис. 5. Основы МКТ

## ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ. СВОЙСТВА ПАРОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ (гл. 5-8)

### Уровни усвоения содержания учебного материала

#### 1. Знание и понимание

- Приведите примеры опытов, позволяющих проверить законы термодинамики и их следствия.
- Охарактеризуйте понятия: *термодинамическая система, термодинамические параметры, термодинамический процесс, насыщенный (ненасыщенный) пар.*
- Дайте определение физических величин: *число степеней свободы, внутренняя энергия, количество теплоты, удельная теплоемкость вещества, молярная теплоемкость, коэффициент полезного действия; абсолютная и относительная влажность воздуха, коэффициент поверхностного натяжения, механическое напряжение, предел упругости, текучести, прочности, абсолютная и относительная деформации.*
- Опишите кристаллическое и аморфное вещества, монокристалл, поликристалл.
- Дайте определение физических явлений: *смачивание, поверхностное натяжение, кристаллизация вещества, деформация тела (пластическая, упругая).*
- Охарактеризуйте изотермический, изохорный, изобарный и адиабатный процессы; прямой и обратный циклы.
- Выпишите законы и формулы, отражающие основное содержание темы «Основы термодинамики».
- Опишите преобразования энергии при изменении агрегатного состояния вещества, работе тепловых двигателей.

#### 2. Применение знаний (базовый уровень)

- Установите связи между величинами, входящими в основные формулы и законы термодинамики.
- Назовите научные факты, лежащие в основе термодинамики.
- Опишите преобразование энергии при изменениях агрегатного состояния вещества в процессе работы тепловых двигателей.
- Объясните физический смысл величин: *молярная газовая постоянная и постоянная Больцмана.*
- Выделите характерные особенности строения и свойства твердых, жидких и газообразных тел.
- Выявите особые свойства поверхностного слоя жидкости и объясните природу сил поверхностного натяжения.



- Укажите практическое использование изученных приборов, устройств, а также область применения изученного материала в целом.

### 3. Применение знаний (повышенный уровень)

- Установите связи между основными формулами и законами термодинамики, МКТ и классической механики.
- Разработайте план и возможную систему действий экспериментального определения удельной теплоемкости жидкости и твердых тел.
- Изложите суть экологических проблем, обусловленных работой тепловых двигателей, и назовите пути их решения.
- Используя теоретическую модель, объясните необходимость теплопередачи для осуществления изотермического процесса, нагревание газа при его быстром сжатии и охлаждение газа при его быстром расширении.
- Покажите роль физики в создании и совершенствовании тепловых двигателей.
- Укажите границы (область) применимости законов термодинамики.
- Выделите в тексте используемого учебного пособия основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

## | Методические рекомендации

Приступая к изучению данного материала, перед обучающимися следует поставить следующие проблемные вопросы: как преобразовать огромную внутреннюю энергию тел в механическую работу? Как преобразовать теплоту сгорания топлива в механическую энергию?

В соответствии с теоретическим обобщением основное содержание данного раздела, выражаемое через фундаментальные теории, может выглядеть следующим образом.

1. *Факты:* эквивалентность теплоты и работы, фазовые переходы на Земле и в Космосе.
2. *Модель тепловых явлений:* внутренняя энергия тела меняется за счет совершения работы при теплопередаче. Модель внутреннего строения Земли и планет.
3. *Понятия:* температура, давление, объем, работа, внутренняя энергия, адиабатный процесс.
4. *Законы:* первый и второй законы термодинамики.

5. *Выводы теории и их практическое применение:* КПД тепловых двигателей и пути его повышения.

Следует ознакомить обучающихся со структурой термодинамики (рис. 6) и по мере изучения данного раздела периодически возвращаться к ее содержанию [22, с. 27].

Одним из основных понятий молекулярной физики является внутренняя энергия, которая зависит от температуры тела, агрегатного состояния вещества и других факторов. Внутренняя энергия не зависит ни от механического движения тела, ни от положения этого тела относительно других тел. Способы изменения внутренней энергии рассматриваются на качественном уровне. По существу, это первый закон термодинамики.

На данном этапе изучения курса физики эти положения подтверждаются количественными расчетами. Всем тепловым процессам дается термодинамическое толкование [4]. Основными понятиями термодинамики являются: *состояние термодинамической системы, макроскопические параметры состояния, равновесное состояние, равновесный процесс.*

*Параметры состояния* — физические величины, характеризующие ее свойства. В механике ими являются скорость и координата, в термодинамике — температура, объем, давление, количество вещества для идеального газа.



Рис. 6. Структура и содержание термодинамики

*Равновесное состояние:* состояние, при котором параметры не изменяются во времени и одинаковы по всему объему тела при отсутствии внешних воздействий. Можно пользоваться термином «равновесная система». Отсутствие этих условий характеризует неравновесное состояние. Из неравновесного состояния система самостоятельно придет в равновесное состояние. Это суть второго закона термодинамики.

*Равновесный процесс* осуществляется в случае, когда система за все его время остается равновесной. Нужно, чтобы *время релаксации* (время перехода системы из неравновесного состояния в равновесное) было намного меньше времени протекания процесса. Все графики процессов для идеального газа отражают равновесные процессы.

Каждому виду движения материи принято ставить в соответствие определенный вид энергии. Например, механическому движению соответствует механическая энергия, движению электрических зарядов — энергия электрического и магнитного полей, тепловому движению — внутренняя энергия.

Рассмотрим понятие *внутренней энергии*. Оно было введено Кельвином в 1851 г. При формировании этого понятия необходимо подчеркнуть, что внутренняя энергия идеального газа зависит лишь от одного макроскопического параметра — *термодинамической температуры*. Внутренняя энергия — однозначная функция термодинамического состояния системы. В термодинамике представляет интерес не сама внутренняя энергия, а изменение ее значения  $\Delta U$  при изменении состояния тела. Это изменение не зависит от процесса перехода системы из одного состояния в другое.

В формулах  $U = \frac{3}{2} N_A \frac{m}{M} kT$ , или  $U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} PV$  (для одноатомного газа) совмещаются термодинамическое толкование внутренней энергии (функция состояния) и статистическое.

Следующее энергетическое понятие — *количество теплоты* — энергия, которую получает или отдает тело при теплообмене. В отличие от внутренней энергии количество теплоты зависит не только от начального и конечного состояния тела (газа), но и от самого процесса перехода, т.е. процесса передачи теплоты.

Понятие работы газа углубляется в термодинамике тем, что она записывается через внешние и внутренние параметры состояния термодинамической системы: для изобарного процесса ( $p = \text{const}$ ) выводится через постоянную силу  $F$  и пройденный поршнем путь  $s$ :  $A = Fs$ , где  $A$  — работа газа (положительна,  $A > 0$ ). Работа внешних сил отрицательна,  $A < 0$ . Впоследствии это следует учесть и в записи первого закона термодинамики.

Признаки термодинамической работы:

- связана с изменением объема ( $A = p\Delta V$ );

- является функцией процесса;
- при совершении работы энергия упорядоченного движения молекул превращается в энергию беспорядочного теплового движения;
- рассчитывается для равновесных процессов.

Так как работа является функцией процесса, общей формулой для нее будет  $\int \delta A = A$  или  $\int p dV = A$ . Нельзя писать  $\Delta A$ , так как нет понятия «изменение работы».

Следует обратить внимание обучающихся на то, что работа и теплообмен — неравноценные способы изменения энергии. *Работа* — изменение энергии упорядоченного движения, совершение которой может привести к изменению как механической, так и внутренней энергии. При *теплообмене* изменяется энергия хаотического движения частиц системы, а это ведет лишь к изменению ее внутренней энергии.

Наиболее распространенная ошибка обучающихся состоит в том, что формулу для расчета работы  $A = p(V_2 - V_1)$  они считают универсальной и используют ее для всех процессов. Необходимо научить обучающихся определять работу геометрически по площади; в цикле.

Выразим работу, которую совершает 1 моль идеального газа при изобарном расширении, через температуру:  $A = p(V_2 - V_1) = R\Delta T$ . При  $T = 1$  К  $A = R$ . Следовательно, молярная газовая постоянная выражает работу, которую совершает 1 моль идеального газа при изобарном расширении при нагревании на 1 К. Постоянная Больцмана  $k = R/N_A$  выражает работу, которую совершает одна молекула идеального газа при изобарном нагревании на 1 К.

Изучение понятия «внутренняя энергия» способствует формированию общепрофессиональных знаний при подготовке специалистов многих специальностей (автомеханических, машиностроительных, технологических, нефтехимических и др.). Например, это понятие позволяет раскрыть физическую сущность экзотермических, эндотермических реакций и теплообменных процессов, широко распространенных в химической технологии.

Следует объяснить обучающимся, что все процессы, протекающие в организмах животного и человека, в конечном счете сводятся к обмену веществ и выделению теплоты в результате обменных реакций. Вся трудовая деятельность человека связана с затратами энергии. Источником энергии является пища. Пищевые продукты в результате биохимических реакций, протекающих в организме, окисляются. При их окислении разрушаются связи, существующие между молекулами пищевых веществ, и освобождается энергия. Количество энергии, освобождающейся при полном окислении единицы массы пищевых веществ в организме человека, называется *калорийностью* пищи. Основными питательными

веществами, которые служат источником энергии организма человека, являются белки, жиры и углеводы. Необходимо привести примеры о количестве энергии, Дж, выделяющейся в организме человека при усвоении 100 г следующих продуктов: хлеб пшеничный —  $10^6$ ; масло сливочное —  $3 \cdot 10^6$ ; молоко коровье —  $2,6 \cdot 10^6$ ; говядина 1-й категории —  $5,6 \cdot 10^6$ ; картофель —  $2,7 \cdot 10^6$ ; масло подсолнечное —  $3,7 \cdot 10^6$ ; сметана 1-го сорта —  $1,2 \cdot 10^6$ .

Прежде чем приступить к изучению первого закона термодинамики, целесообразно повторить закон сохранения энергии в механических процессах. При этом особое внимание уделяется обсуждению вопроса о том, что механическая энергия сохраняется в замкнутых консервативных системах. Если система не является консервативной, то ее механическая энергия частично или полностью превращается во внутреннюю энергию, но при этом сохраняется полная энергия системы.

На данном этапе рассмотрения вопроса лучше сразу изучить процессы, возможные в термодинамической системе при теплообмене, — расширение, нагревание или одновременно расширение и нагревание [3, с. 19—22]. В последнем случае системой совершается работа и увеличивается внутренняя энергия газа, таким образом:  $Q = A + \Delta U$ . Работа и количество теплоты характеризуют процесс изменения состояния. При одинаковом его изменении эти величины различны (в зависимости от способа перехода системы из одного состояния в другое), хотя сумма их будет одна и та же. Закон сохранения энергии не предсказывает направление процессов, а лишь указывает, что в системе есть что-то, всегда сохраняющееся. В механике направление процесса описывается уравнениями движения, в термодинамике — вторым ее законом.

Первый закон термодинамики — эмпирический, он получен как обобщение опытов Джоуля, Майера. Приведем следствия закона.

1. Закон записывается для изопроцессов и адиабатного процесса в конкретном виде. Такую работу целесообразно дать обучающимся как самостоятельное заполнение табл. 9.

2. Энергетические преобразования в тепловых машинах: превращение внутренней энергии топлива в механическую энергию с учетом КПД, превращение механической энергии в тепловую при неупругих соударениях или частично неупругих.

Таблица 9. Применение первого закона термодинамики к изопроцессам

Процесс	Объем	Работа газа	Температура	Внутренняя энергия	Первый закон термодинамики

В данном случае рекомендуется рассмотреть с энергетической точки зрения циклические процессы на графиках: определение участков, при которых система отдает или получает теплоту, увеличивает или уменьшает внутреннюю энергию, совершает работу положительную или отрицательную. Обучение основано на первом законе термодинамики. В дальнейшем данный материал понадобится для определения КПД *реальных тепловых машин*.

Следствием первого закона термодинамики является работа тепловых двигателей. Основой для теории тепловых двигателей является труд С.Карно «О движущей силе огня» (1824). *Первое* требование к работе тепловых двигателей — циклический процесс (процесс, в котором начало и конец совпадают). Внутренняя энергия при цикле не изменяется. Это означает, что вся работа, совершенная за цикл, получается за счет теплоты, которая поступает в систему. На одних участках она поступает в систему, на других — уходит из системы. Двигатель совершает полезную работу только в том случае, когда работа расширения больше работы сжатия, что возможно в случае, когда расширение происходит при более высокой температуре, чем сжатие.

В цикле температура изменяется от одной точки к другой. Можно представить термостат с переменной температурой, куда погружено рабочее тело. Для большей наглядности выбираются два тела: одно отдает теплоту (нагреватель), а второе забирает его (холодильник). В общем случае у них изменяется температура вместе с температурой газа, т.е. газ погружен сначала в нагреватель, а затем в холодильник. Отсюда следует *второе* необходимое условие для работы любого теплового двигателя: наличие нагревателя, холодильника. Не может быть тепловой машины, которая только забирает теплоту и при этом совершает за ее счет положительную работу. Такие процессы встречаются (например, ружье), но не имеют циклов. Итак, в тепловых двигателях:

- рабочим телом является идеальный газ;
- цикл совершается по часовой стрелке ( $A > 0$ );
- рабочее тело получает теплоту от нагревателя и отдает холодильнику.

Не возможен вечный двигатель I рода. КПД тепловых машин не может быть равным 100 %. Это также следствия первого закона термодинамики. В них заключается методологическое значение темы. Тема заканчивается описанием идеальной тепловой машины.

Пределом КПД реальных тепловых машин является КПД идеальной тепловой машины. Этим отличается КПД тепловой машины от КПД простых механизмов, в которых пределом КПД является 100 %. Можно рассмотреть задачи по сравнению максимального КПД с полученным для любого цикла. При этом

для расчета максимального КПД реальной тепловой машины выбирается максимальная и минимальная температуры.

Для понимания принципа работы холодильной машины нужно проанализировать работу холодильных машин в различных режимах на конкретных примерах.

Необходимо сообщить обучающимся, что в природе существует четыре состояния вещества: твердое, жидкое, газообразное и плазменное. *Фазой* называется однородная по химическому составу и физическим свойствам некоторая часть термодинамической системы, отделенная от других частей, имеющих иные свойства, границами раздела, на которых происходит изменение свойств. Например, лед, вода и пар — три фазовых состояния, которые в отдельности имеют однородный химический состав и одинаковые физические свойства; на границах раздела фаз происходит изменение свойств при фазовых переходах: плавление льда, испарение воды, конденсация пара, кристаллизация воды.

Существование различных фазовых состояний у вещества обусловлено его агрегатным состоянием, которое определяется тепловым движением молекул (атомов) и их взаимодействием. *Агрегатное состояние* вещества — это энергетическое состояние кинетической и потенциальной энергий молекул (атомов). В зависимости от изменения кинетической и потенциальной энергий происходят переходы от одной фазы к другой, которые сопровождаются скачкообразными изменениями физических свойств.

*Фазовые превращения* — переходы вещества из одной фазы в другую. В термодинамике рассматриваются только равновесные фазовые переходы, т.е. такие превращения, при которых физические свойства веществ меняются скачком, при этом выделяется или поглощается теплота фазового перехода. Например, при испарении, парообразовании и плавлении теплота поглощается, при конденсации и кристаллизации теплота выделяется. *Ненасыщенный пар* имеет свойства газов и чем дальше от состояния насыщения, тем точнее подчиняется газовым законам.

Чтобы обратить ненасыщенный пар в *насыщенный*, необходимо: а) уменьшить его объем (увеличить давление); б) понизить температуру; в) одновременно повысить давление и понизить температуру.

Чтобы обратить насыщенный пар в ненасыщенный, необходимо: а) увеличить его объем (уменьшить давление); б) повысить температуру; в) одновременно понизить давление и повысить температуру.

Для повышения мотивации познавательной деятельности следует обратить внимание обучающихся на то, что *влажность воздуха* является одним из основных факторов, определяющих состояние погоды и климата. Умение измерять и регулировать влажность воздуха необходимо в различных технологических

процессах, при сушке зерна, фруктов, в архивах, книгохранилищах и т.п. Следует разъяснить значение влажности для человека. В интервале температур 25 — 30 °С нормальная жизнедеятельность человека сохраняется при относительной влажности 40 — 60 %. При влажности воздуха ниже 30 % воздух становится сухим, резко усиливается испарение влаги со слизистых оболочек, возникает сухость во рту и горле, образуются трещины на губах, снижаются защитные функции верхних дыхательных путей и т.п. Повышенная влажность (выше 70 %) также отрицательно влияет на организм человека. При высокой температуре воздуха с повышенной влажностью человек сильно потеет, но пот не испаряется, организм перегревается, и это приводит к «тепловому удару». При низкой температуре с повышенной влажностью организм человека, наоборот, сильно охлаждается, так как во влажном воздухе резко увеличивается потеря тепловой энергии в результате конвекции и теплопроводности.

Основным мотивом для формирования у обучающихся сознательного отношения к изучению свойств жидкостей может служить сообщение преподавателя о способах задержания влаги в почве, об агрессивных действиях грунтовых вод, о путях предохранения металлических конструкций от коррозии и деревянных — от гниения, об упругости и вязкости смазочных материалов и жидкостей, используемых в гидромеханике, гидравлике и т.п. Для выяснения представлений обучающихся о явлениях, происходящих на границе «твердое тело — жидкость», поставить проблемный вопрос: почему одни тела смачиваются, а другие — не смачиваются водой? Затем рассмотреть силы, действующие на молекулу жидкости, находящуюся на границе с твердым телом, и объяснить искривления поверхности жидкости.

Повышению мотивации обучающихся при изучении твердого состояния вещества может служить разъяснение, что в технике, строительстве и на транспорте все чаще ставится задача получения материалов с заданными свойствами: одни должны быть высокопрочными, другие — термостойкими, третьи — хорошими проводниками электрического тока, четвертые — изоляторами и т.д. Невозможно технологически правильно вести обработку материалов резанием, давлением, литьем, производить термообработку без знания их физических свойств. Конструирование и эксплуатация различных станков, машин, механизмов, зданий, мостов и других сооружений немислима без знания принципов, лежащих в основе выбора материалов и условий их физических нагрузок в процессе эксплуатации. Во всех случаях в зависимости от условий работы материалов приходится учитывать такие их свойства, как прочность, твердость, хрупкость, пластичность, термостойкость и износостойчивость. Эти задачи



могут быть решены, если знать структуру металла, минерала или какого-либо другого материала. Приступая к изучению элементов физики твердого тела, нужно хорошо представлять себе важность знаний о твердом теле для правильного применения материалов в практической деятельности человека.

При изучении твердой фазы вещества, в ходе эвристической беседы с обучающимися, следует прийти к выводу, что монокристаллы обладают анизотропией. Основной причиной анизотропии является неодинаковая плотность расположения атомов и молекул по различным направлениям в кристалле. *Анизотропия* проявляется в механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойствах монокристаллов. Продемонстрировать анизотропию теплопроводности кристаллического гипса и рассказать о неодинаковой прочности кристаллов по различным направлениям (например, кристаллы слюды, льда), неодинаковой электрической проводимости по различным направлениям и преломляемости света при прохождении через кристалл в разных направлениях (кварц).

В жидкостях, газах, твердых телах (аморфных и в большинстве поликристаллических) в любом направлении располагается примерно на одинаковых расстояниях одинаковое число частиц, поэтому эти тела обладают *изотропностью*. На доске можно показать схему беспорядочного расположения молекул, но так, чтобы от начала отсчета в любом направлении на расстоянии условно взятого радиуса находилось в среднем одинаковое число молекул. Следует отметить, что один и тот же кристалл является изотропным относительно одних свойств и анизотропным относительно других. Например, кристаллы поваренной соли и меди изотропны относительно теплового расширения, но анизотропны для механических свойств.

Внутреннее строение кристаллов характеризуется двумя признаками: пространственным расположением атомов (молекул или ионов), образующих кристаллическую решетку, и природой связи между ними. В зависимости от того какие частицы находятся в узлах решетки и каков характер сил взаимодействия между ними, различают типы связей и виды кристаллических структур: молекулярные кристаллы, ионные кристаллы, атомные кристаллы, металлические и сложные кристаллы.

Рекомендуется тему «Основы термодинамики» заканчивать рассмотрением экологических вопросов, приведенных в табл. 10 [17, с. 183 — 185].

Интересный и большой материал на эту тему также можно найти в монографии [6].

Приведем пути осуществления принципа профессиональной направленности преподавания физики (табл. 11) при изучении этой темы.

Таблица 10. Экологические вопросы

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
Тепловое равновесие. Температура	Сезонные изменения температуры в природе, их экологические последствия. Примеры реакций живых организмов на изменение температурного режима	Развивать умение предсказывать возможные последствия человеческой деятельности, оценивать их влияние на окружающую среду
Применение уравнения состояния идеального газа к изопроцессам	Дыхание почвы. Оксиды азота как загрязнители окружающей среды. Круговорот азота в природе. Оксиды углерода как загрязнители. Химическое загрязнение окружающей среды. Мероприятия по сокращению выбросов отходов химического производства, предельно допустимые концентрации выбросов, экологические принципы современного производства	Формировать убеждения в том, что в природе все взаимосвязано и взаимобусловлено. Подвести обучающихся к пониманию возможности предвидеть негативное влияние на природу. Способствовать формированию умения давать объективную оценку состояния окружающей среды, предвидеть ее воздействия на здоровье человека
Внутренняя энергия. Количество теплоты	Влияние изменения температуры на жизнедеятельность живых существ. Источники теплового загрязнения биосферы	Научить обучающихся рассчитывать масштабы тепловых загрязнений, предсказывать их возможное воздействие на окружающую среду
Принцип действия тепловых двигателей. КПД	Тепловое загрязнение окружающей среды: а) отвод теплоты в циркуляционных водяных системах; б) загрязне-	Раскрыть степень влияния тепловых двигателей на окружающую среду, оценить его масштабы.

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
	ние тепловыми выбросами с воздушными потоками. Загрязнение продуктами сгорания: а) выбросы в атмосферу; б) выбросы с твердой частью продуктов сгорания (шлаки). Пути повышения КПД тепловых двигателей	Сформировать умение оценивать экологичность производства. Убедить обучающихся в том, что наука способна оптимизировать отношения между обществом и окружающей средой
Тепловые двигатели и охрана природы	Экологичность тепловых электростанций. Экологичность транспорта. Пути уменьшения негативного воздействия тепловых двигателей на окружающую среду	Развивать умение предсказывать негативные последствия человеческой деятельности на природу и предупреждать их. Сформировать умение правильного поведения в окружающей среде
Испарение и конденсация	Круговорот воды в природе. Влияние загрязнений на состав воды в природе. Способы получения пресной воды	Обогатить знания о природе как целостной системе. Формировать умение давать экологическую оценку, определять состав отравляющих веществ, выбрасываемых в биосферу
Влажность воздуха	Характеристика комфортных и производственных условий труда. Влияние антропогенного фактора на влажность воздуха	На основе анализа условий труда подвести к оценке экологически чистого производства и охране окружающей среды
Поверхностное натяжение	Влияние химического и физического загряз-	Научить определять источники загрязне-

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
	нения водоемов на жизнь их обитателей. Причины гибели водоплавающих птиц от нефтяных загрязнений	ний, оценивать их масштабы, предусматривать влияние на природу
Капиллярные явления	Способы охраны флоры. Сохранение влажности в грунте	Развивать умение оценивать поведение человека в окружающей среде
Механические свойства	Композиционные материалы и проблемы сохранения природных ресурсов	Формировать убеждения о возможности решения природоохранных проблем

Таблица 11. Пути осуществления принципа профессиональной направленности физики

Физические понятия, явления и законы	Примеры конкретизации этих понятий, явлений и законов на учебном материале профессионального характера
Изменение агрегатного состояния вещества	Получение из нефти таких продуктов, как бензин, дизельное топливо и др., основано на возможности перевода этих составляющих нефти (фракций) из жидкого состояния в парообразное
Понятие вакуума	В автомобилях путем создания вакуума бензонасосом жидкое горючее поступает из бензобака в карбюратор. Для торможения автомобиля используется вакуумный усилитель
Изменение внутренней энергии	Работа ДВС, являющегося основным узлом автомобиля, совершается за счет внутренней энергии, выделяемой при сгорании топлива
Возрастание давления газа при повышении температуры (изохорный процесс)	Давление возрастает за счет повышения температуры при сгорании горючей смеси в цилиндре ДВС. Вспышка воздушной смеси длится очень малое время, поэтому можно считать, что объем постоянный.

Физические понятия, явления и законы	Примеры конкретизации этих понятий, явлений и законов на учебном материале профессионального характера
	Увеличение давления воздуха в камерах колес автомобиля при нагревании их от длительной езды по сухому асфальтобетонному покрытию дорог
Возрастание давления газа при резком уменьшении объема	Степень сжатия показывает, во сколько раз уменьшается объем топливно-воздушной смеси в цилиндре карбюраторного двигателя или воздуха в цилиндре дизельного двигателя при перемещении поршня от нижней «мертвой» точки до верхней. При такте сжатия в ДВС объем уменьшается в 6—7 раз и более, а давление возрастает до 10 Па и более. При резком сжатии воздуха в цилиндрах дизеля температура повышается настолько, что впрыскиваемое через форсунку топливо воспламеняется
Уменьшение давления газа при увеличении его объема	При рабочем ходе поршня вниз объем увеличивается, а давление уменьшается. То же происходит и при выпуске газа
Необратимые процессы	Процессы, происходящие в ДВС различных машин
Теплопроводность	У ДВС имеются блок цилиндров и головка блока. Алюминиевая головка блока имеет большую теплопроводность, чем чугунная, поэтому предохраняет двигатель от перегрева и позволяет увеличить мощность ДВС. Вода — плохой проводник теплоты, поэтому ее часто используют для охлаждения ДВС
Работа в термодинамике	Работа, совершаемая поршнем во время рабочего такта ДВС
Теплоемкость	Применение воды или антифриза в качестве охлаждающей жидкости. Вода имеет большую теплоемкость

Физические понятия, явления и законы	Примеры конкретизации этих понятий, явлений и законов на учебном материале профессионального характера
Цикл Карно и его КПД для идеального газа	КПД двигателя внутреннего сгорания в общем случае зависит от количества теплоты, образующейся при сгорании топлива в цилиндрах ДВС, и отвода ее через радиаторы водяного и воздушного охлаждения
Вязкость (внутреннее трение)	При подаче бензина из цистерны (бензоколонки) в бензобак автомобиля скорость перекачивания не должна превышать 3 – 5 м/с, так как при больших скоростях перекачки возникает опасность воспламенения бензина за счет внутреннего трения. В зимний период для уменьшения вязкости горючего вводят специальные добавки
Тепловое расширение тел	В приборах сигнализации и освещения автомобиля используются биметаллические пластинки, изготовленные из двух металлов с различными коэффициентами расширения (инвар и хромникелевая сталь)
Кристаллическая решетка	Знание типов кристаллических структур позволяет понять технологию производства материалов с заданными свойствами

### Систематизация учебного материала

Полезны задания обобщающего характера: составить таблицу типов тепловых двигателей с указанием их мощности, коэффициента полезного действия и области применения, положив в основу классификации принцип их работы.

Систематизацию учебного материала целесообразно проводить на основе структурно-логических схем, отражающих структуру физических теорий, «Основы МКТ и термодинамики» (рис. 7).

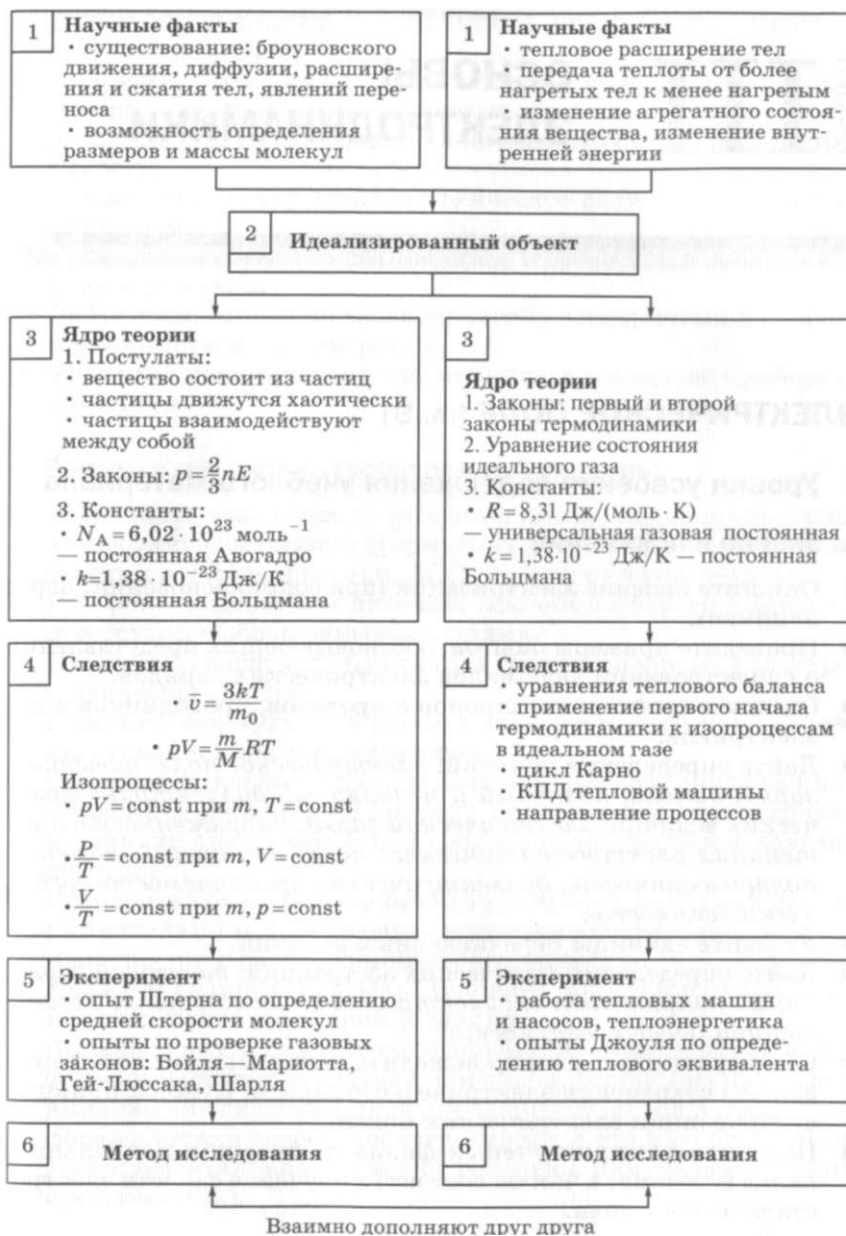


Рис. 7. Основы МКТ и термодинамики

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ (гл. 9)****Уровни усвоения содержания учебного материала****1. Знание и понимание**

- Опишите явление электризации (при соприкосновении, через влияние).
- Приведите примеры опытов, обосновывающих представления о существовании двух видов электрических зарядов.
- Опишите свойства электронов и протонов, проводников и диэлектриков.
- Дайте определения понятий: *электрическое поле, точечный заряд, диполь, полярный и неполярный диэлектрик*; физических величин: *электрический заряд, напряженность и потенциал электростатического поля, дипольный момент, поляризованность, диэлектрическая проницаемость среды, емкость*.
- Укажите единицы перечисленных величин.
- Дайте определения физических абстракций: *точечный заряд, линии напряженности электростатического поля, эквипотенциальные поверхности*.
- Сформулируйте и воспроизведите в математической форме законы сохранения электрического заряда, Кулона; принцип суперпозиции электрических полей.
- Назовите фамилии ученых-физиков, внесших наибольший вклад (уточняя, в чем он состоит) в изучение свойств электростатического поля.

**2. Применение знаний (базовый уровень)**

- Установите связи между величинами, входящими в закон Кулона, формулы напряженности, потенциала, энергии за-



ряженного уединенного проводника, конденсатора, электростатического поля.

- Раскройте физический смысл величин: напряженность и потенциал электростатического поля, дипольный момент, поляризованность, диэлектрическая проницаемость среды, емкость.
- Объясните, почему электростатическое поле является потенциальным.
- Проведите сравнительный анализ теорий дальнего действия и ближнего действия.
- Дайте сравнительную характеристику электрических свойств проводников и диэлектриков.
- Укажите практическое применение изученных приборов, устройств.

### **3. Применение знаний (повышенный уровень)**

- Установите связи между рассмотренными однопорядковыми элементами содержания (формулами, законами и т.п.) электростатики и термодинамики, МКТ и классической механики.
- Раскройте содержание явлений, законов электростатики в соответствии с обобщенными планами.
- Проведите сравнительный анализ гравитационного и электростатического полей.
- Выведите формулы для расчета емкости при различных соединениях конденсаторов.
- Объясните явление электризации тел при соприкосновении.
- Объясните физическую природу поляризации диэлектриков и влияние диэлектрической среды на электрическое взаимодействие.
- Разработайте план и возможную систему действий экспериментального определения емкости конденсатора и диэлектрической проницаемости вещества.
- Укажите границы (область, условия) применимости рассмотренных ранее уравнений и законов.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### **Методические рекомендации**

Основной задачей раздела «Основы электродинамики» является изучение взаимодействий заряженных частиц, осуществляе-

мых посредством электромагнитного поля. Логическая структура данного раздела: формирование понятия электромагнитного поля и электрического заряда; изучение взаимодействия поля и вещества, электрических и магнитных свойств вещества; изучение законов тока и электрических цепей; основные технические применения электродинамики.

В электродинамике рассматриваются следующие силы:

- силы, характеризующие взаимодействие покоящихся зарядов:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2} \text{ (для вакуума). Они носят центральный характер,}$$

зависят от расстояния между взаимодействующими зарядами и не зависят от скорости;

- сила взаимодействия движущихся зарядов и магнитной стрелки (опыт Эрстеда) действует по линии, соединяющей их, зависит не только от расстояния между взаимодействующими телами, но и от силы тока, которая, в свою очередь, является функцией скорости движения заряженных частиц и заряда;
- силы, возникающие между двумя параллельными проводниками с током, не являются центральными. Они пропорциональны силе тока в проводниках и обратно пропорциональны расстоянию между ними;
- сила, действующая на движущийся заряд со стороны магнитного поля, зависит от скорости движения заряда, но не является центральной. Во всех случаях говорится о скорости частиц относительно какой-то системы отсчета. В электродинамике рассматривают силы, которые зависят не только от расстояний, но и от скорости движения зарядов в выбранной системе отсчета (подобные силы в механике Ньютона не рассматривались) [11, с. 167—168].

Механизм явлений, причиной которых выступает электромагнитное взаимодействие, нельзя наблюдать непосредственно. Физический эксперимент иллюстрирует лишь действия электрических зарядов (токов), а сами заряды (токи), поля непосредственно не наблюдают. В связи с этим большую пользу в усвоении физической сути явлений оказывают модели и аналогии, мысленный эксперимент. При изучении основ электродинамики применяют следующие модели: точечный заряд, свободный электрон; модель электронного газа, проводника и диэлектрика; зонную модель проводника, диэлектрика и полупроводника. В данном разделе в основном применяют мысленные модели, для восприятия которых необходим определенный уровень абстрактного мышления.

Следует предложить обучающимся внимательно рассмотреть содержание рис. 8 и по мере изучения данного раздела физики периодически возвращаться к нему [22, с. 33].

В начале изучения темы «Электрическое поле» целесообразно предложить обучающимся ответить на следующие вопросы:

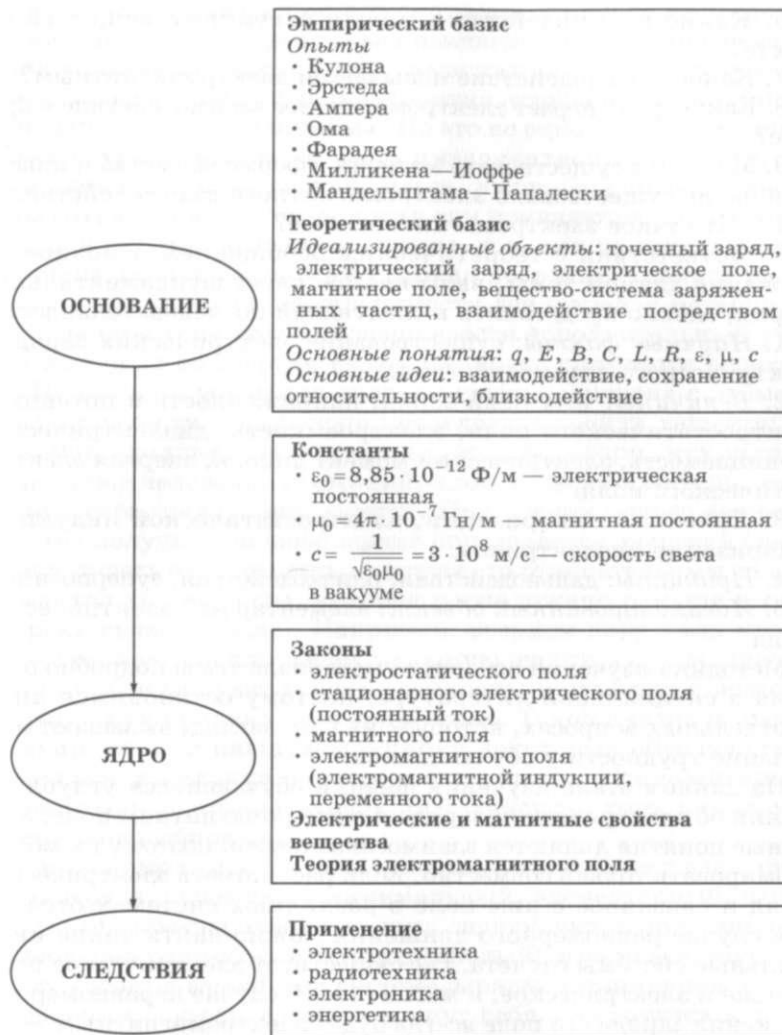


Рис. 8. Структура и содержание электродинамики

1. Какое строение имеют атомы?
2. Как взаимодействуют между собой одноименно и разноименно заряженные тела?
3. Какие элементарные частицы вы знаете?
4. Какие элементарные частицы обладают электрическим зарядом, а какие — нет?
5. Какова природа силы, удерживающей электроны на орбитах, по которым они движутся вокруг ядер атомов?

6. Какие взаимодействия между частицами вещества вы знаете?

7. Какое взаимодействие называется электромагнитным?

8. Какую роль играет электромагнитное взаимодействие в природе?

9. Могли бы существовать материя в форме вещества и жизнь, если бы не существовало электромагнитного взаимодействия?

10. Что такое электромагнитное поле?

В соответствии с теоретическим обобщением основное содержание данной темы, выражаемое через фундаментальные теории, можно представить в следующей последовательности.

1. *Научные факты:* существование электрических зарядов, электрического взаимодействия.

2. *Величины:* точечный заряд, напряженность и потенциал электростатического поля, электроемкость, диэлектрическая проницаемость, электрический момент диполя, энергия электростатического поля.

3. *Явления:* электризации, электростатической индукции, поляризации диэлектриков.

4. *Принципы:* дальнего действия, ближнего действия, суперпозиции.

5. *Идеализированный объект:* элементарный электрический заряд.

Методика изучения основного материала темы подробно освещена в специальной литературе, поэтому остановимся лишь на отдельных вопросах, которые, на наш взгляд, вызывают наибольшие трудности у обучающихся.

На данном этапе изучения физики обучающиеся углубляют знания об электрическом заряде и электромагнитном поле. Указанные понятия являются взаимосвязанными, поэтому их можно формировать только совместно. Если рассмотреть электрический заряд и связанное с ним поле в различных системах отсчета, то в случае равномерного движения можно найти такие инерциальные системы отсчета, где существует электрическое поле, а также и электрическое, и магнитное. В случае неравномерного движения заряда его поле всегда будет электромагнитным — одновременно будут существовать и действовать и электрическое, и магнитное поля. Таким образом, *для описания электромагнитных явлений существует выбор системы отсчета.*

В природе есть частицы, обладающие электрическими зарядами, но нет зарядов без частиц. Определение понятия «электрический заряд» обычно дается по аналогии с массой — основной мерой взаимодействия. Электрический заряд — физическая величина, являющаяся количественной мерой способности тел к электромагнитному взаимодействию. Электрический заряд абсолютен (инвариантен) — он не зависит от выбора системы отсчета. С этим свойством заряда связан закон его сохранения

Если бы заряд зависел от его скорости, то после приведения в движение зарядов одного знака изменился бы суммарный заряд изолированной системы. В этой связи надо заметить, что обучающиеся иногда отождествляют понятия «сохранение величины» и «инвариантность величины». Но это не одно и то же: величина может сохраняться, но не быть инвариантной. Например, для таких величин, как энергия, масса, импульс, справедливы законы сохранения, и в то же время они изменяются при переходе из одной системы отсчета в другую, т. е. они не инвариантны. Изучение закона сохранения заряда позволяет сделать вывод о неуничтожимости и несотворимости движущейся материи.

По данной теме целесообразно ввести дополнительный учебный материал об энергии связи электрона с атомами вещества [8]. По степени убывания энергии связи электрона с атомами можно привести следующую последовательность веществ: асбест, мех кролика, стекло, слюда, шерсть, кварц, мех кошки, шелк, кожа человека, алюминий, хлопок, дерево, янтарь, медь, резина, сера, целлулоид, каучук. При трении одного вещества о другое получаемый знак заряда определяется энергией связи. Если потереть одно вещество о другое, то отрицательным знаком зарядится то вещество, которое расположено раньше в ряду (энергия связи больше). Например, возьмем пару «мех кролика — стекло». Стекло имеет меньшую энергию связи, значит, оно при трении будет терять электроны и зарядится отрицательно, а мех кролика — отрицательно. Такой анализ позволит предупредить устоявшуюся ошибку некоторых обучающихся: «стеклянная палочка при трении заряжается положительно, а эбонитовая — отрицательно». Все зависит от того, какая пара материалов выбирается.

Необходимо акцентировать внимание на свойствах электрического заряда: существует минимальный, элементарный, заряд; заряды тел кратны элементарному заряду; существует два рода зарядов (положительный и отрицательный), взаимодействующих между собой; в замкнутой системе заряды подчиняются закону сохранения; заряды создают вокруг себя электрическое поле; электрический заряд инвариантен (его величина не зависит от системы отсчета, т. е. не зависит от того, движется он или покоится); электрический заряд аддитивен (заряд любой системы тел (частиц) равен сумме зарядов тел (частиц), входящих в систему).

Изучение электрических зарядов заканчивается обобщением их свойств и эмпирическим законом Кулона. В дальнейшем этот закон применяется для анализа условия равновесия зарядов: связанных и свободных, устойчивого и неустойчивого их равновесия. Обучающимся необходимо разъяснить, что закон Кулона может быть применен и для неточечных зарядов. В этом случае надо мысленно разделить заряженное тело на отдельные элемен-

ты, каждый из которых рассматривается как точечный, а затем геометрически просуммировать полученные силы. Возможность суммирования действия отдельных зарядов на какой-нибудь данный заряд (принцип суперпозиции) — опытный факт, как и закон Кулона. Следует указать границы применимости данного закона: на расстояниях порядка  $10^{-10}$  м закон Кулона не выполняется; сила электрического взаимодействия оказывается в 10 раз меньше, чем это следует из закона. Это можно объяснить тем, что электроны и протоны, на которых проверялся данный закон, не являются точечными и их заряд не сосредоточен в точках, а распределен в каком-то объеме.

Углубление знаний об электрическом поле следует начать с введения в электродинамику, где на основе знаний, полученных ранее, актуализируются первоначальные представления об электромагнитном поле: электрическое поле создается покоящимся зарядом, поле убывает с расстоянием, поле действует на заряд. На данном этапе изучения следует акцентировать методологический аспект на существовании поля как среды, которая передает взаимодействие в пространстве с конечной скоростью. В этом заключается идея близкодействия. Известны следующие свойства электростатического поля, которые отражают его существенные признаки (определяют его отличия от другой формы материи — вещества): не меняется со временем, создается только неподвижными зарядами, неразрывно с ними связано.

Электрическое поле имеет различные характеристики: силовую — напряженность, энергетическую — потенциал.

Можно наметить такую последовательность изучения понятия «потенциал» [11, с. 192]:

- устанавливают факт независимости работы сил поля от пути перемещения заряда в поле из одной точки в другую;
- зафиксировав одну из точек (нулевая точка), характеризуют все остальные точки работой по перемещению единичного заряда из исследуемой точки в нулевую; эта характеристика потенциала имеет смысл потенциальной энергии единичного положительного пробного заряда, помещенного в данную точку;
- модуль и знак потенциала определяются выбором нулевого уровня;
- при выборе нулевого уровня в бесконечно удаленной точке пространства потенциалы всех остальных точек поля, созданного положительным зарядом, имеют положительный знак, а потенциалы точек в поле отрицательного заряда — отрицательный;
- потенциалы поля, созданного совокупностью зарядов, находятся алгебраическим суммированием потенциалов полей отдельных зарядов;

- под действием поля свободные положительные заряды движутся в сторону уменьшения потенциала, а отрицательные — в сторону его увеличения;
- вводят понятие эквипотенциальной поверхности и устанавливают, что линии напряженности электростатического поля в точке пересечения перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям и направлены в сторону убывания потенциала;
- модуль вектора напряженности равен изменению потенциала на единицу длины в направлении действия силы, т.е. вдоль нормали к эквипотенциальной поверхности.

Одним из важных вопросов в данной теме является принцип суперпозиции: если электрическое поле образовано несколькими зарядами, то потенциал в какой-либо точке поля равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым зарядом:  $\Phi = \sum \Phi_i$ , где знак потенциалов поля определяется знаком заряда тел, его создающего. Рекомендуется ознакомить обучающихся со значениями потенциалов электростатических полей, встречающихся в быту или просто представляющих интерес.

В ходе эвристической беседы с обучающимися устанавливаем, что на основании закона сохранения энергии работа внешних сил при перемещении заряда против сил электрического поля равна работе сил электрического поля между одними и теми же точками поля, поэтому общая работа по замкнутому контуру в электрическом поле равна нулю, т.е.  $A_{12} - A_{21} = 0$ . Это является подтверждением потенциального характера электрического поля. Если электрическое поле совершает работу  $A$  при перемещении заряда  $Q$  из одной точки поля в другую, то при перемещении зарядов  $2Q, 3Q, \dots, nQ$  то же поле совершит работу соответственно  $2A, 3A, \dots, nA$ . Это следует из формулы  $A = Eqd$ . Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении единицы заряда из одной точки поля в другую, равна постоянной величине:  $A/Q = 2A/(2Q) = 3A/(3Q) = \dots = Ed = \text{const}$ . Отношение  $A/Q = U$  служит энергетической характеристикой поля и называется *напряжением*.

Энергетические характеристики электростатического поля достаточно абстрактны, мало используется экспериментальный метод при их введении, поэтому требуется применение традиционных наглядных и современных технических средств.

Далее рассматривается связь между напряженностью и разностью потенциалов электрического поля, чем и заканчивается изучение его характеристик. В итоге обучающиеся должны уметь описывать электростатическое поле как через силовые, так и через энергетические характеристики.

Объяснение различных электрических свойств следует давать на основе классической теории электрической проводимости металла.

Объяснение поведения проводников в электрическом поле необходимо вести на модели идеального проводника, в котором движение свободных зарядов начинается при сколь угодно малой напряженности электрического поля.

Свойства среды в электродинамике характеризуются тремя величинами: *относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , относительной магнитной проницаемостью  $\mu$  и удельной электрической проводимостью  $G$* . При изучении диэлектриков основными понятиями являются *полярные и неполярные молекулы, поляризация диэлектрика, связанный заряд, диэлектрическая проницаемость, поляризованность*.

Кроме силового действия электромагнитного поля на заряды, по которому определяют его характеристики, оно имеет и ряд других свойств (обладает запасом энергии, имеет инертную и гравитационную массу и т.д.). Справедливость законов сохранения применительно к веществу и полю указывает на глубокое внутреннее их единство. Свойства вещества и поля представлены в табл. 12.

Обучающимся необходимо ориентироваться в экологических вопросах, связанных с данной темой, поскольку соблюдение экологических норм напрямую связано со здоровьем человека. Например, в данной теме можно говорить об электростатических полях вокруг нас, их вредном воздействии — в процессе работы на поверхности мониторов скапливаются заряды с положительным знаком, происходит не только оседание пыли, но и поглощение отрицательных ионов из воздуха, что приводит к ухудшению воздушной среды в комнате. Доказано, что отрицательные ионы благотворно действуют на человеческий организм, а увеличение положительных ионов ведет к быстрой утомляемости, повышению давления, головным болям и даже к аллергическим проявлениям. Для снижения вредного воздействия следует ежедневно протирать от пыли монитор, проветривать комнату. У обучающихся вызывают большой интерес применение электризации для получения дактилоскопических отпечатков в современных приборах, например ксероксе, и роль электрических зарядов в природных явлениях.

При изучении явлений, которые происходят в проводниках и диэлектриках, находящихся в электрическом поле, мотивацию познавательной деятельности можно осуществить через разъяснение практической значимости данных вопросов, поскольку различные материалы широко применяются в электро- и радиотехнике для производства электрических генераторов, двигателей, трансформаторов, линий электропередач, радио- и телевизионных аппаратов и т.п.

При объяснении физической природы электростатической индукции следует обратить внимание на то, что в проводнике, помещенном в электрическое поле напряженностью  $E_{\text{внешн}}$ , про-



Таблица 12. Сравнение свойств вещества и поля

Общие свойства	Отличительные свойства
Вещество и поле обладают массой, импульсом и энергией	Вещественные объекты друг с другом непосредственно не взаимодействуют, взаимодействие происходит по схеме: частица — поле — частица. При больших напряженностях возможны взаимодействия между полями
Веществу и полю присуши как волновые, так и корпускулярные свойства	Поля в отличие от веществ не имеют определенной пространственной локализации, точно указать их границы невозможно
Все процессы, происходящие в веществе и поле, подчиняются основным законам сохранения	Один и тот же объем пространства не может быть занят одновременно различными вещественными объектами. В одном и том же объеме может существовать несколько различных полей
Вещество и поле проницаемы друг для друга. Поле изменяет свойства вещества (поляризация, намагничивание), а вещество влияет на поле (характеристики влияния — диэлектрическая и магнитная проницаемость)	Частицы вещества могут двигаться со скоростью, не превышающей скорость света в вакууме. Электромагнитные волны распространяются со скоростью света. Поле в отличие от вещества не может служить системой отсчета, так как скорость — величина постоянная относительно движущихся и неподвижных объектов
Возможно взаимопревращение вещества и поля (рождение пары электрон — позитрон за счет фотона и обратный процесс — электрон и позитрон, объединяясь, образуют два гамма-кванта)	Вещество имеет массу покоя, у фотона (квантов электромагнитного поля) масса покоя равна нулю

исходит разделение отрицательных и положительных зарядов внутри проводника и возникает внутреннее электрическое поле напряженностью  $E_{\text{внутр}}$ . При этом электрические заряды внутри и на поверхности проводника приходят в состояние равновесия, при котором  $E_{\text{внешн}} - E_{\text{внутр}} = 0$ . Внутри проводника одновременно

существует два поля — внешнее и внутреннее, напряженности которых в любой точке проводника равны по модулю и противоположны по направлению.

При изучении темы «Диэлектрики в электрическом поле» следует обратить внимание обучающихся на то, что поляризация неполярных диэлектриков обусловлена смещением положительных и отрицательных зарядов молекул или атомов в противоположные стороны под действием сил внешнего электрического поля. Поляризация полярных диэлектриков обусловлена поворотом диполей по направлению линий напряженности внешнего электрического поля. При большой напряженности внешнего электрического поля в диэлектрике может произойти разрушение его диполей. В этом случае внутри диэлектрика появляются свободные заряды, которые при своем движении вызывают механическое разрушение диэлектрика. Такое явление называется *пробоем диэлектрика*. Например, пробой в стекле наступает при  $(1 - 3) \cdot 10^6$  В/м, в керамике — при  $(1 - 3) \cdot 10^7$  В/м. Поляризация диэлектрика может происходить и без действия сил внешнего электрического поля. Такие твердые диэлектрики, как кварц, поляризуются в процессе деформации при механических воздействиях. Такое явление называется *прямым пьезоэлектрическим эффектом*. Следует познакомить обучающихся с обратным пьезоэлектрическим эффектом и его практическим применением в устройствах источников ультразвука, громкоговорителей, стабилизаторов частот колебаний и т.п.

При изучении темы «Электрическая емкость проводника. Конденсаторы. Энергия электрического поля» мотивацию познавательной деятельности обучающихся можно повысить, если разъяснить им применение конденсаторов в устройстве радиоприемников, телевизоров и многих других электронных приборов. Свойство конденсаторов накапливать и сохранять энергию используется в технике для получения кратковременного импульса тока большой силы (например, в фотовспышке).

Формирование понятий «емкость», «энергия электрического поля» можно начать с постановки проблемы. Имеются два шара с разными радиусами, заряженные одинаковым зарядом, которые соединяют проводником. Будут ли перетекать заряды с одного проводника на другой? Для решения этой проблемной задачи можно прибегнуть к гидростатическому аналогу, сравнивая проводники с сообщающимися сосудами. В сосуды разной формы налита жидкость одинаковой массы. Масса жидкости пропорциональна объему (емкости) жидкости в сосудах:  $m \sim V$ . После соединения сосудов вода перетекает из одного сосуда в другой до выравнивания уровней, при которых давление жидкости на дно сосудов будет одинаково. В каждом сосуде уже будет находиться вода разной массы.

Проводим аналогию: масса — заряд; вместимость — емкость (характеристика проводника накапливать заряд, условное обозначение  $C$ ). Так как масса жидкости пропорциональна объему, значит, заряд на проводниках пропорционален емкости:  $Q \sim C$ . Давление жидкости на дно сосуда является аналогом потенциала проводников. Жидкость перетекает до выравнивания давления на дно, значит, заряды перетекают до выравнивания потенциалов. Два соединенных вместе проводника образуют эквипотенциальную поверхность. На каждом проводнике при этом будет разный заряд.

После этого можно ввести определение емкости: *емкость* — физическая скалярная величина, характеризующая способность проводника накапливать заряды и равная отношению заряда к потенциалу проводника. Вводятся единицы емкости, в том числе и дольные. Формула для расчета емкости шара в вакууме  $C = 4\pi\epsilon_0 R$  удобна, чтобы показать 1 фарад: (1 Ф) — емкость шара радиусом 9·10<sup>9</sup> м.

Изучение понятия емкости для системы проводников можно начать также с проблемы: как увеличить емкость проводников? Почему она увеличивается? Обсуждение данного вопроса можно провести так: пусть имеются два проводника, один из которых заряжен положительно, а второй заземлен. При приближении второго заряда к первому на нем появляются индуцированные отрицательные заряды. Положительный потенциал первого проводника будет из-за этого уменьшаться. Значит, эта система может накапливать больший заряд, емкость увеличивается за счет уменьшения разности потенциалов. Можно качественно на опыте провести исследование зависимости емкости от геометрических размеров плоского конденсатора. После чего логично вводится понятие емкости конденсатора:

$$C = \frac{Q}{\Phi_1 - \Phi_2}.$$

Кроме традиционных примеров использования конденсаторов в радиотехнике рекомендуется рассмотреть их применение в современной аппаратуре: во вспышках фотоаппарата, клавиатуре компьютеров, в выпрямителях для сглаживания тока, в лампах дневного света для зажигания.

### Систематизация учебного материала

Систематизация знаний обучающихся при изучении данного материала может осуществляться путем сравнения (установления сходства и различия) характеристик гравитационного и электростатического полей (табл. 13). Также целесообразно провести сравнительный анализ последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

**Т а б л и ц а 13. Сравнительные свойства гравитационного и электростатических полей**

Основные характеристики	Поле	
	гравитационное	электростатическое
Объекты взаимодействия	Все тела и частицы	Заряженные тела и частицы
Формула силы	$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$	$F = k \frac{ Q_1   Q_2 }{R^2}$
Напряженность	$g = \frac{F}{m}$	$E = \frac{F}{Q}$
Разность потенциалов	$\varphi_2 - \varphi_1 = g(h_2 - h_1)$	$\varphi_2 - \varphi_1 = E(h_2 - h_1)$
Работа сил поля по перемещению тела или заряда	$A = mg(h_1 - h_2)$ $A = mgh$	$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2) =$ $= QE(d_2 - d_1)$ $A = QEd$
Работа по замкнутой траектории	$A = 0$	$A = 0$

Другой способ систематизации учебного материала может быть осуществлен на основе частной физической теории «Электростатика» (на основе цикла естественно-научного познания): факты — модель — следствия — эксперимент. Поскольку «Электростатика» входит в состав фундаментальной теории «Электродинамика», ориентировочной основой деятельности обучающихся может выступить рис. 8.

## **ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ (гл. 10, 11)**

### **Уровни усвоения содержания учебного материала**

#### **1. Знание и понимание**

- Дайте определение физических явлений: *электрический ток, сверхпроводимость.*
- Сформулируйте определения физических величин: *сила тока, плотность тока, напряжение, электрическое сопротивление, электрическая проводимость, удельное электрическое*

*сопротивление, удельная электрическая проводимость, электродвижущая сила (ЭДС), работа и мощность тока.*

- Укажите единицы перечисленных величин.
- Начертите электрические схемы последовательного, параллельного и смешанного соединения проводников.
- Опишите исторические этапы развития классической теории электрической проводимости металлов.
- Сформулируйте законы: Ома для участка и полной цепи, Джоуля — Ленца.
- Опишите устройство и назначение полупроводниковых диодов и триодов (транзисторов).
- Перечислите правила техники безопасности при работе с электрическими приборами.
- Объясните физическую природу сопротивления проводников.

## **2. Применение знаний (базовый уровень)**

- Установите связи между величинами, входящими в формулы законов: Ома для участка и полной цепи, Джоуля — Ленца.
- Раскройте физический смысл величин: сила тока, плотность тока, напряжение, электрическое сопротивление, электрическая проводимость, удельное электрическое сопротивление, удельная электрическая проводимость, ЭДС, работа и мощность тока.
- Объясните зависимость сопротивления проводников от линейных размеров, концентрации и подвижности электрических зарядов, температуры.
- Пользуясь механической аналогией, объясните роль источника тока в цепи.
- Объясните характер собственной и примесной проводимости полупроводников, а также проводимости *p*- и *n*-типа.
- Опишите принцип действия полупроводниковых диодов и триодов.
- Начертите электрическую схему и объясните принцип действия выпрямителя на полупроводниковых диодах.
- Приведите примеры опытов, подтверждающих справедливость законов Ома и Джоуля — Ленца.
- Расскажите о вкладе ученых-физиков в открытие названных выше законов.
- Предложите практическое применение изученных явлений, приборов, устройств (в том числе меры безопасности при работе с бытовыми электроприборами).

## **3. Применение знаний (повышенный уровень)**

- Установите связи между рассмотренными формулами, законами постоянного электрического тока и однопорядковыми

элементами содержания из электростатики, термодинамики, МКТ и классической механики.

- Раскройте содержание явлений, величин, законов, устройств, изученных в разделе «Постоянный электрический ток» в соответствии с обобщенными планами.
- Выведите формулы для расчета емкости при различных типах соединения конденсаторов и законов Ома и Джоуля — Ленца.
- Проведите сравнительный анализ полупроводниковых диодов и триодов.
- Объясните проводимость (проводников, полупроводников) и зависимость их сопротивления от различных параметров.
- Начертите электрическую схему и объясните принцип действия усилителя тока на транзисторах.
- Разработайте план, возможную систему действий и схему цепи для экспериментального определения удельного электрического сопротивления, электродвижущей силы и мощности тока.
- Укажите границы (область, условия) применимости представленных выше уравнений и законов.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### Методические рекомендации

Силовой характеристикой стационарного электрического поля является *вектор напряженности*  $E$ , но это суммарный вектор, представляющий собой сумму двух векторов:

- 1)  $E_{\text{вн}}$  — вектор напряженности поля кулоновских сил;
- 2)  $E_{\text{ст}}$  — вектор напряженности поля сторонних сил, т.е. согласно принципу суперпозиции  $E = E_{\text{вн}} + E_{\text{ст}}$ .

Вектор напряженности стационарного электрического поля  $E$  не перпендикулярен поверхности проводника, поэтому его можно разложить на две составляющие: перпендикулярную к поверхности проводника и направленную по касательной к поверхности. Вторая составляющая вектора напряженности стационарного электрического поля и создает направленное движение электронов в проводнике, т.е. электрический ток. При стационарном электрическом поле в проводнике электрические заряды движутся равномерно, поэтому существует постоянный ток.

Источник тока представляет собой устройство, разделяющее положительные и отрицательные заряды; наиболее распространенным является *гальванический элемент*. За счет химической

реакции между электролитом и электродами на последних образуется разность потенциалов, которая зависит от их нормального электродного потенциала. Силы неэлектрического происхождения, разделяющие заряды, называются сторонними. В химических элементах сторонние силы возникают за счет химической реакции. Благодаря им поддерживается постоянная разность потенциалов между электродами.

При рассмотрении замкнутых цепей одной из важнейших характеристик источника тока является *электродвижущая сила* — скалярная физическая величина, равная отношению работы сторонних сил по перемещению положительного заряда вдоль контура к величине этого заряда:  $\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q_0}$ . ЭДС выступает

основным понятием в теме «Законы постоянного тока». Энергетической характеристикой стационарного электрического поля является напряжение; для поля сторонних сил — электродвижущая сила, а для кулоновского поля — разность потенциалов.

Для понимания сути и роли ЭДС применяют метод аналогий. Обобщим такие схожие понятия, как *напряжение ( $U$ )*, *разность потенциалов ( $\varphi_1 - \varphi_2$ )* и *ЭДС ( $\mathcal{E}$ )* источника, и рассмотрим разницу между ними для цепей с постоянным током [5, с.43]:

а) под напряжением цепи понимается *полная работа*, совершаемая при перемещении положительного единичного заряда в замкнутой цепи;

б) под разностью потенциалов понимается *работа*, совершаемая электростатическими силами при перемещении положительного единичного заряда *на внешнем участке*. Разность потенциалов равна напряжению на внешнем участке цепи;

в) под ЭДС понимается *работа сторонних сил* при перемещении положительного единичного заряда *на внутреннем участке* цепи.

Из формулы  $U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}$  следует:

- 1) для *замкнутой цепи*  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ , поэтому  $U = \mathcal{E}$ ;
- 2) для участка цепи, не содержащего источника тока ( $\mathcal{E} = 0$ ), т.е. *однородного участка цепи*,  $U = \varphi_1 - \varphi_2$ ;
- 3) для *разомкнутой цепи*  $U = 0$  и  $|(\varphi_1 - \varphi_2)| = \mathcal{E}$ . Так измеряют ЭДС экспериментально;

4) для участка цепи, содержащего источник тока, т.е. *неоднородного участка цепи*,  $U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}$

Различная трактовка понятия «напряжение» играет существенную роль лишь в случае участка цепи, содержащего ЭДС. В противном случае (именно этот случай и рассматривают в школьном курсе физики) и при первой трактовке  $U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}$  на напряжение тождественно разности потенциалов.

Кратко отметим отличия поля в проводнике от электростатического: напряженность стационарного поля внутри провод-

ников не равна нулю — именно поэтому в них и перемещаются свободные заряды, линии напряженности не перпендикулярны к поверхности проводников, поверхности проводников не являются эквипотенциальными, распределение зарядов на поверхностях проводников с током иное, чем при электростатическом равновесии зарядов, устанавливаемом в случае обрыва цепи и т.д. Кроме того, следует показать общие черты электростатического и стационарного полей: оба они потенциальные, линии напряженности обоих полей незамкнутые — они начинаются или заканчиваются на зарядах. Поэтому к стационарному электрическому полю применимо понятие потенциала.

Потенциальный характер стационарного электрического поля можно обосновать следующими доводами: сила постоянного тока во всех сечениях цепи одинакова: заряды нигде не накапливаются и не исчезают — это означает, что при наличии тока в проводнике распределение зарядов в пространстве не меняется со временем, хотя заряды и находятся в движении (просто одни заряженные частицы занимают места других и т.д.). Постоянный ток подобен безвихревому течению жидкости — сколько бы снимков мы ни сделали в разные моменты времени, получим один и тот же вид. Но неизменность пространственного распределения зарядов является признаком потенциальности поля. Таким образом, основное требование к зарядам, при котором поле можно считать потенциальным, выполняется и при наличии постоянного тока. Значит, стационарное поле является потенциальным [11, с.198].

При изучении замкнутой цепи вводят понятия внутреннего, внешнего и полного сопротивления. Наиболее просто выводится закон Ома для полной цепи на основе закона сохранения энергии. В замкнутой цепи нет затрат энергии на механическую и химическую работу. При прохождении электрического тока по замкнутой цепи работа сторонних сил затрачивается на выделение теплоты на внешнем и внутреннем ее участках:

$$A_{\text{ст}} = I^2 R t + I^2 r t, A_{\text{ст}} = \mathcal{E} I t, \text{ откуда } I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}, \mathcal{E} = IR + Ir.$$

Работой сторонних сил затрачивается на увеличение потенциальной энергии положительного единичного заряда (равной напряжению на внешнем участке) и на работу по преодолению сопротивления при движении положительного единичного заряда на внутреннем участке (равную напряжению на внутреннем участке). Необходимо обратить внимание обучающихся на то, что закон Ома для полной цепи связан с законом сохранения и превращения энергии и, следовательно, с идеей неуничтожимости и несотворимости движения и материи.

Далее рассматривается закон Ома для замкнутой цепи, содержащей несколько источников, при этом договариваются о на-



правлении обхода контура и выборе знака ЭДС. Договоренность об этом означает формальности в определении знака ЭДС. Физический смысл таков: источники дают токи различных направлений по отдельности, вместе токи суммируются, поэтому полная ЭДС равна алгебраической сумме ЭДС в цепи.

В общем виде закон Ома записывается так:  $I = \frac{U}{R_{\text{полн}}}$ . В формулу закона подставляют значение напряжения для различных контуров, которые были указаны ранее, соответственно, получаются законы Ома для однородного участка цепи, замкнутой цепи и неоднородного участка цепи.

Величина  $IR = U$ , равная произведению силы тока в проводнике на сопротивление этого проводника, называется *падением напряжения* на данном проводнике. Следует обратить внимание обучающихся на численное равенство падения напряжения и напряжения только в том случае, когда в проводнике не происходит никаких других превращений электрической энергии, кроме ее перехода во внутреннюю энергию с выделением теплоты.

Современная теория *сверхпроводимости* состоит в том, что при температурах, близких к нулю Кельвина, происходит особое взаимодействие между электронами проводимости (с порождением и поглощением фотонов), которое характеризуется притяжением между электронами. При таком взаимодействии фотонное притяжение электронов сильнее кулоновского отталкивания, поэтому все электроны проводимости связаны между собой и не могут отдавать энергию малыми порциями. Энергия коллективизированных электронов не расходуется на тепловые колебания ионов, поэтому сопротивление практически равно нулю.

В теме «Законы постоянного тока» осуществляется связь физики с математикой в графическом представлении функций, исследовании формул законов и в решении задач. Следует предложить начертить графики функций:  $I = f(U)$  при  $R = \text{const}$ ,  $I = f(R)$  при  $U = \text{const}$  и др. При рассмотрении явлений сверхпроводимости нужно объяснить специфический вид графика зависимости  $\rho = f(T)$  при понижении температуры и переходе в область сверхпроводимости.

При изучении вопросов *проводимости различных сред* в учебнике принята традиционная последовательность: металлы — электролиты — газ — вакуум — полупроводники, которая отражает исторический путь изучения и использования в технике особенностей прохождения тока через различные среды. «Данной теме «работает» классическая электронная теория; при объяснении механизма проводимости большое внимание уделяют становлению причинно-следственных связей; дальнейшее развитие здесь находят модельные представления: модель электролита, полупроводника и т.д.

В целях повышения эффективности изучения данного учебного материала следует рассмотреть проводимость различных сред по единому плану:

- выяснить природу носителей заряда, особенности их движения;
- ввести вольт-амперные характеристики;
- объяснить закономерности, которым подчиняется ток в данной среде;
- отметить явления, сопровождающие прохождение тока в данной среде;
- показать практическое применение тока в данной среде, устройство и принцип действия различных приборов.

В начале изучения темы «Электрический ток в полупроводниках» полезно сообщить основные этапы развития полупроводниковой электроники: открытие фотоэффекта в селене (У. Смит, 1873); открытие односторонней проводимости контакта металла с полупроводником (К.Ф.Браун, 1874); использование кристаллических полупроводников в качестве детекторов для демодуляции радиотелефонных и радиотелеграфных сигналов (1900—1905); создание меднозакисного и селеновых выпрямителей и фотоэлементов (1920—1926); использование кристаллических детекторов для генерирования и усиления колебаний (О.В.Лосев, 1922); изобретение транзистора (У.Шокли, У.Браттейн, Дж. Бардин, 1948). Высокие темпы развития электроники в 50—70-х гг. XIX в. связаны с развитием полупроводников. Именно в эти годы полупроводники нашли широкое применение в автоматике, связи, вычислительной технике, системах управления, в исследовании космического пространства, в медицине, быту и т.д.

Изучение темы «Электрический ток в полупроводниках» целесообразно начать с демонстрации характерных свойств полупроводников. А затем на основе введенного в химии понятия ковалентной и парноэлектронной связи выяснить механизм проводимости полупроводников и объяснить их свойства. Понятие *дырочная проводимость* — способ описания механизма проводимости, осуществляемой движением связанных электронов между соседними атомами.

Данная тема характеризуется широкими межпредметными связями: предшествующими — с химией (изучение темы опирается на понятие о ковалентных связях) и технологией (понятия об управлении техническим устройством и автоматике, основных элементах автоматических устройств, резисторных датчиков и их применении). Принципиально важно и то, что обучающиеся на данном этапе получают теоретическую основу для изучения технических дисциплин.

В табл. 14 приведены основные понятия и законы электродинамики, которые при изучении общетехнического предмета

**Таблица 14. Взаимосвязь раздела «Основы электродинамики» и курса «Общая электротехника с основами электроники»**

<b>Основные понятия и законы электродинамики</b>	
<b>Положение 1</b>	<b>Положение 2</b>
<p><b>Электрический заряд; электрическое поле и его основные характеристики; емкость конденсатора; электрический ток, сила и плотность тока; работа и мощность тока; электрохимический эквивалент; законы: сохранения заряда, Ома, Джоуля — Ленца</b></p>	<p><b>Напряжение и разность потенциалов, энергия электрического поля, электродвижущая сила источника электрической энергии, законы Кирхгофа</b></p>

«Общая электротехника с основами электроники» используются (положение 1) и развиваются (положение 2) [17, с. 95].

Такие понятия, как электрический заряд, напряженность, сила тока, плотность тока, электродвижущая сила и другие из раздела «Основы электродинамики» курса физики, являются основными понятиями курса «Общая электротехника с основами электроники» с основами электроники и не претерпевают особых изменений. Однако некоторые из них уточняются и расширяются. Например, в электротехнике показывается, что ЭДС зависит от внутреннего строения источника; выводится формула для вычисления ЭДС в обмотке якоря двигателя постоянного тока, из которой видно, что ЭДС зависит от конструкции генератора, частоты вращения якоря и значения магнитного потока. В цепи переменного тока с индуктивностью рассматривается зависимость ЭДС самоиндукции и напряжения на катушке от частоты тока и магнитного потока. Это в дальнейшем используется для анализа работы трансформатора и двигателей переменного тока.

Таким образом, хотя формулировка понятия ЭДС, переносимого из физики в электротехнику, по существу не изменяется, происходит обогащение содержания данного понятия при рассмотрении в электротехнике конкретных электрических схем и технических объектов. Кроме того, обобщаются закономерности: закон сохранения заряда, рассматриваемый в курсе физики, находит свое воплощение в первом законе Кирхгофа для расчета силы токов, сходящихся в одном узле; закон Ома, рассматриваемый в курсе физики для замкнутой цепи с одним источником ЭДС, преобразуется во второй закон Кирхгофа для расчета более сложных цепей со многими источниками. Исследуя электрическую цепь на примере с двумя источниками ЭДС в курсе электротехники, обучающиеся убеждаются, что источник электрической энергии может работать как в режиме генератора, так и в режиме потребителя. Примером может служить аккумулятор автомобиля,

Таблица 15. Примеры реализации принципа профессиональной направленности содержания обучения физике

Физические понятия, явления и законы	Примеры конкретизации этих понятий, явлений и законов на учебном материале профессионального характера
Сопротивление проводника	Зависимость сопротивления проводников от температуры учитывается в регуляторе напряжения
Понятие ЭДС	Понятие ЭДС источника постоянного тока используется при рассмотрении процессов зарядки и разрядки аккумулятора
Закон Ома для всей цепи	Закон Ома применяется при расчетах электрических цепей электрооборудования автомобиля
Различные способы соединения источников тока	Различные способы соединения источников электрической энергии в батарее используются в автомобилях с дизельным двигателем. В момент пуска двигателя стартером, потребляющим ток большой силы, они автоматически включаются последовательно
Электрический ток в полупроводниках	Полупроводниковые диоды и триоды используются в электрооборудовании автомобиля: диоды — в выпрямительном блоке-генераторе для преобразования переменного тока в постоянный; триоды — в регуляторе напряжения. Использование триодов позволяет увеличить силу тока в цепи возбуждения генератора и исключить искрообразование между контактами, а следовательно, повысить долговечность и надежность регулятора напряжения

который работает и в качестве источника электрической энергии, и в качестве ее потребителя.

Примеры реализации принципа профессиональной направленности содержания обучения физике представлены в табл. 15 [17].

## | Систематизация учебного материала

Выявлению особенностей электрического тока в средах будет способствовать заполнение табл. 16.

Систематизацию учебного материала следует провести на основе *содержательно-методических идей физической науки*:

Т а б л и ц а 16. Электрический ток в различных средах

Вопросы	Металлы	Полупроводники	Электролиты*	Газы*
1. Свободные носители электрического тока				
2. Условия существования электрического тока				
2. Зависимость сопротивления от температуры				
3. Вольт-амперная характеристика				
4. Основные законы				
5. Технические применения				

\* Исходя из стандарта обучения физике данное понятие выходит за обязательные рамки обучения.

1	<b>Научные факты</b> Существование электрических зарядов, электрического и магнитного взаимодействия
2	<b>Идеализированный объект</b> Элементарный электрический заряд
3	<b>Ядро теории</b> <i>Электронная теория проводимости:</i> а) закон сохранения заряда; б) закон Кулона; в) закон Ома для всей цепи; г) закон Джоуля—Ленца в дифференциальной форме <b>Константа:</b> $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрическая постоянная
4	<b>Следствия</b> Закон Ома для участка цепи (однородного и неоднородного), закон Джоуля—Ленца в интегральной форме, законы Кирхгофа. Виды проводников
5	<b>Эксперимент</b> Опыты Кулона, Ома, Джоуля. Применение проводников, диэлектриков и полупроводников

Рис. 9. Основы электродинамики

методы (которые были использованы) естественно-научного познания, движение и силы, вещество, поле, энергия.

Другой способ систематизации учебного материала может быть осуществлен на основе цикла естественно-научного познания: факты — модель — следствия — эксперимент, структуры физической теории (рис. 9).

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ (гл. 12, 13)

### Уровни усвоения содержания учебного материала

#### 1. Знание и понимание

- Приведите примеры опытов, обосновывающих связь магнитного поля с движением электрических зарядов; связь электрического поля с изменением магнитного.
- Опишите свойства магнитного и вихревого электрического полей, диа-, пара- и ферромагнетиков.
- Укажите внешние признаки проявления явлений: *солнечный ветер, электромагнитная индукция (в том числе взаимная индукция и самоиндукция), токи Фуко.*
- Дайте определения физических величин: *магнитный момент контура, магнитная индукция, магнитная проницаемость среды, поток вектора магнитной индукции, работа по перемещению проводника с током в магнитном поле, сила Лоренца, индуктивность, энергия магнитного поля, объемная плотность энергии.*
- Укажите единицы перечисленных величин.
- Дайте определение линий магнитной индукции, укажите их отличия от линий напряженности электростатического поля.
- Сформулируйте правила левой руки и Ленца.
- Сформулируйте и воспроизведите в математической форме принцип суперпозиции магнитных полей, законы: Ампера, электромагнитной индукции Фарадея.
- Назовите фамилии ученых-физиков, внесших наибольший вклад в изучение магнитного поля и магнитных свойств вещества.

#### 2. Применение знаний (базовый уровень)

- Установите связи между величинами, входящими в формулы: закона Ампера, силы Лоренца, потока вектора магнитной индукции, работы по перемещению проводника с током в магнитном поле, закона электромагнитной индукции Фарадея,

индуктивности, энергии магнитного поля, объемной плотности энергии.

Опишите характерные закономерности при наблюдении и экспериментальных исследованиях магнитного поля, диа-, пара- и ферромагнетиков.

Раскройте физический смысл величин: магнитный момент контура, магнитная индукция, сила Лоренца, магнитная проницаемость среды, напряженность магнитного поля, поток вектора магнитной индукции, работа по перемещению проводника с током в магнитном поле, индуктивность, энергия магнитного поля, объемная плотность энергии.

Объясните, почему электрическое поле, порожденное переменным магнитным полем, не является потенциальным.

Приведите примеры практического применения изученных явлений, законов, приборов, устройств.

### **Применение знаний (повышенный уровень)**

Установите связи между рассмотренными формулами, законами и однопорядковыми элементами содержания из электростатики, постоянного тока, термодинамики, МКТ и классической механики.

Раскройте содержание указанных выше явлений и законов в соответствии с обобщенными планами.

Проведите сравнительный анализ магнитного, электростатического и вихревого электрического полей.

Проиллюстрируйте роль физики в создании и совершенствовании следующих технических объектов: электрических двигателей постоянного тока, электроизмерительных приборов, микрофонов, генераторов, устройств магнитной записи информации и т.д.

Используя теоретические модели, объясните взаимодействие двух параллельных проводников с током.

Расскажите о роли магнитных полей в жизни растений, животных, человека.

Объясните природу магнитных свойств различных веществ. Разработайте систему действий экспериментального определения индукции магнитного поля.

Укажите границы (область, условия) применимости указанных выше уравнений и законов.

Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

## Методические рекомендации

На начальном этапе изучения данной темы следует организовать обсуждение с обучающимися следующих вопросов: какие физические объекты будут изучаться? Рассматривались ли они ранее? Какие свойства, характеристики этих объектов изучены (не изучены)? Какими величинами они выражены? С какими основными явлениями предстоит познакомиться? Какие фундаментальные взаимодействия ответственны за их происхождение? Кто из ученых внес наибольший вклад в развитие данной физической теории (или ее элементов)?

Как известно, одним из способов повышения эффективности процесса обучения является структурирование учебного материала. Оно предполагает создание четко распознаваемой схемы внутренних связей между элементами знаний, обеспечивает системность учебного материала, выделение в нем главного, группирует фактический, описательный материал вокруг ключевых идей науки.

Рассмотрим один из вариантов осуществления структурирования знаний [18, с. 65, 66].

Сначала учебный материал по отдельной теме разделяется на структурные элементы. В качестве таких элементов выступают факты, понятия, законы, принципы, правила и т.д. Затем между выделенными элементами устанавливаются логические связи и отношения. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы структура учебного материала отражала наиболее важные методологические звенья цикла научного познания в физике: от обобщения опытных фактов к построению абстрактной модели и установлению законов, далее к выводу теоретических следствий и, наконец, к практическому использованию следствий или их экспериментальной проверке. Такая организация учебного материала способствует глубокому осмыслению обучающимися явлений и законов, развитию их теоретического мышления.

В качестве примера проиллюстрируем структурирование знаний при изучении *электромагнетизма*. За основу абстрактной модели электромагнитных явлений следует взять фундаментальные опыты Эрстеда, Ампера и Фарадея. Переход от фактов к абстрактной модели, составляющей ядро теории, осуществляется на основе содержательных обобщений, которые предполагают раскрытие в учебном материале с помощью исходных «клеточек» познания системы связей между явлениями. Именно идея содержательных обобщений позволяет избежать формализма в процессе структурирования знаний, приводит его в соответствие с современным научным способом познания физических явлений. При изучении магнитного поля токов исходной



«клеточкой» знания становится свойство магнитного поля действовать на движущийся заряд (сила Лоренца). Развитие этой «клеточки» прослеживается в действии магнитного поля на проводник с током (сила Ампера), в магнитных свойствах вещества и в возникновении индукционного тока в проводнике при его движении в магнитном поле.

При рассмотрении электромагнитной индукции развитие внутренних связей идет от основного свойства магнитного поля порождать при своем изменении электрическое поле. Это свойство отражает сущность явления электромагнитной индукции. В качестве следствий получаем конкретное проявление этого свойства в возникновении вихревых токов и в явлении самоиндукции. Такое структурирование учебного материала позволяет выявить возможности применения различных методов обучения, в частности проблемного изложения, поисковой беседы и др.

Следовательно, учебный материал необходимо излагать таким образом, чтобы обучающиеся обнаруживали прежде всего исходную, всеобщую связь, лежащую в основе физических явлений, а затем прослеживали логику «самодвижения» учебного материала, развитие понятий и их взаимосвязь.

Очень важно обучать самостоятельному структурированию знаний. С этой целью сначала нужно познакомить обучающихся с основными требованиями к структурным элементам физических знаний, а затем предложить им выполнить такие задания: «выделите в данном тексте учебника структурные элементы знаний (явления, понятия, законы и т.д.). Определите, как реализованы в данном тексте основные требования к структурным элементам знания и составьте план ответа. Изобразите схематично логику изложения учебного материала».

Выполнение таких заданий требует осознанного отношения к учебному материалу, способствует выработке определенного алгоритма умственных действий, формирует умение самостоятельной работы. В соответствии с теоретическим обобщением основное содержание тем «Магнитное поле» и «Электромагнитная индукция» через фундаментальные теории может быть представлено следующей последовательностью.

1. *Факты:* магнитное взаимодействие, взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой Земли, солнечная активность.

2. *Понятия:* близкое действие, электромагнитное поле, магнитная индукция, магнитный поток, сила Лоренца, диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость.

3. *Модель:* материя существует не только в виде вещества (материальная точка), имеющего заряд, но и в виде поля; каждая точка поля имеет силовую и энергетическую характеристику; поле действует на заряженные тела непосредственно (близкодей-

ствие); поле в пустоте распространяется с конечной постоянной скоростью, изменение электрического поля ведет к возникновению магнитного поля, вихревое электромагнитное поле может существовать независимо от заряженных тел.

#### 4. *Законы:* Ампера, электромагнитной индукции.

В учреждениях среднего профессионального образования происходит углубление и расширение названных понятий. Рассматриваются такие понятия, как «сила Лоренца», магнитные свойства вещества. Главными вопросами изучения магнитного поля являются следующие: где существует магнитное поле? Как его исследовать? Как его описать? Где его применить? В теме много исторических опытов. Для формирования методологических знаний можно изучать тему в историческом аспекте: теоретическая гипотеза ученого, идея его опыта, практическая реализация, технические трудности, результаты опыта, вывод, постановка опыта на современном учебном лабораторном оборудовании, выводы, формулировка законов, теории. Фундаментальными опытами в теме являются опыты Эрстеда и Ампера.

Надо помнить, что опыт Эрстеда при всей его простоте иллюстрирует не только магнитные действия тока, но и исторический опыт, который является фундаментом изучения магнитных свойств тока.

Что изучать раньше — закон Ампера или индукцию как физическую величину — характеристику поля? Не исключены оба варианта. В учебнике за основу взят второй вариант. В этом случае логика введения магнитной индукции такая же, как и на пряженности электростатического поля. С изменением элемента магнитного момента рамки  $IAS$  пропорционально изменяется момент сил, поэтому их отношение остается постоянным и служит характеристикой внешнего магнитного поля.

В процессе изучения этой темы одной из основных является идея поля, поэтому взаимодействие токов следует рассматривать с точки зрения идеи близкого действия. Обучающиеся часто представляют взаимодействие токов по Амперу, т.е. один ток действует на другой мгновенно. Ампер разработал электромагнетизм на основе идеи дальнего действия. Для Фарадея, который ввел понятие поля, главной при взаимодействии была среда.

Для углубления знаний концепций *близкого действия* и *дальнего действия* можно предложить обучающимся ответить на вопрос: «Куда направлена и к чему приложена сила, действующая со стороны проводника с током на магнитное поле?» Тем самым создается ситуация для осознания обучающимися того, что третий закон Ньютона выполняется только в рамках концепции дальнего действия, поэтому не может быть применен к взаимодействию вещественного и полевого объектов. Реализацию идеи Фарадея

о близком действии можно удачно продемонстрировать с помощью известного опыта по взаимодействию параллельных токов. Обучающиеся наблюдают взаимодействие проводников, но не могут объяснить причину возникновения силы отталкивания или притяжения. Поскольку проводники электронейтральны, электрические поля всех положительных и отрицательных зарядов взаимно компенсируются. Значит, возникли силы, которые нами еще не изучены (возникла проблемная ситуация). В этом случае говорят, что вокруг каждого из проводников возникло магнитное поле. Токи  $I_1$  и  $I_2$  создают магнитные поля с индукцией  $B_1$  и  $B_2$ . Ток  $I_1$  действует магнитным полем  $B_1$  на ток  $I_2$  с силой  $F_{12}$ . Ток  $I_2$  действует магнитным полем  $B_2$  на ток  $I_1$  с силой  $F_{21}$ . Используя мнемоническое правило буравчика и левой руки для каждого тока, можно определить направление сил. Таким образом, магнитное поле каждого проводника действует на другой проводник с током с некоторой силой.

Впоследствии на основе данного вывода рассматривается закон Ампера, выводится формула для определения силы взаимодействия токов, которая используется для введения основной единицы в электродинамике — ампера (А). Расчет взаимодействия параллельных токов должен быть обобщающим и систематизирующим в теме.

Следует обратить внимание обучающихся на условия введения *вектора магнитной индукции*:

- достаточно малые размеры линейного проводника с током и рамки с током, которые являются индикаторами, значит, их магнитное поле не должно искажать изучаемое;
- векторы максимальной силы, индукции магнитного поля и элемента тока взаимно-перпендикулярны. Это относится и ко второму определению: векторы магнитной индукции, магнитного момента рамки с током и вращательного момента взаимно-перпендикулярны.

Изучению *силы Лоренца* следует придать особое значение, так как она в технике имеет не менее распространенное применение, чем сила Ампера. Вывод ее значения  $F_L = Bq(v)\sin\alpha$  несложен, хорошо известен, поэтому здесь его не приводим. Силу Лоренца называют также удельной силой Ампера или иначе сила Ампера — суммарная сил Лоренца. Движения заряженных частиц в магнитных и электрических полях, на которые действуют силы Лоренца и Кулона, образуют различные траектории и широко используются в технических устройствах.

Сила, действующая на заряд, движущийся в направлении  $B$ , равна нулю. В этом принципиальное различие в определении направления вектора напряженности  $E$  и вектора магнитной индукции  $B$  (направление  $E$  совпадает с направлением силы, действующей в данной точке на положительный заряд).

Важным понятием в данной теме является *поток магнитной индукции*. В курсе основной школы поток магнитной индукции связывается с густотой линий индукции и качественно анализируется зависимость магнитного потока от магнитной индукции, площади контура, которую он пронизывает, и ориентации площадки контура по отношению к линиям индукции. Исходя из этого, можно утверждать, что обучающиеся подготовлены к восприятию формулы  $\Phi = BS \cos \alpha$ .

Есть задачи, в которых нужно определить изменение магнитного потока через рамку с током, тогда  $\Delta\Phi = BS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$ . В этих случаях надо научить обучающихся определять направление нормали к площадке (направление магнитного момента). Оно зависит от направления тока и определяется правилом буравчика. Пусть плоскость рамки с током расположена перпендикулярно к магнитному потоку и повернулась на  $180^\circ$ , тогда угол между нормалью к рамке и вектором индукции также изменится на  $180^\circ$ , т.е.  $\Delta\Phi = 2\Phi_0$ , или  $\Delta\Phi = -2\Phi_0$ , в зависимости от направления магнитного поля. Если в рамке теперь изменить направление тока на противоположное, то под действием сил Ампера она повернется еще раз на  $180^\circ$ . Полное изменение потока за один оборот равно  $|\Delta\Phi| = 4\Phi_0$ . Так происходит в двигателях постоянного тока, в которых за счет полуколец изменяют направление тока в рамке. Значит, для подсчета изменения магнитного потока при многократном перемещении линейного проводника или вращении рамки с током надо брать суммарное число пересечений ими магнитных линий.

Обучающимся необходимо проинформировать о тех значениях индукции магнитных полей, которые их окружают и безопасны для организма. Интересным для них будет дополнительный материал о магнитном поле Земли, знакомство с гипотезой его существования, радиационном слое Земли, связанном с магнитным полем, влиянии магнитного поля Земли на живые организмы и т.д. Вот одно из объяснений наличия магнитного поля у Земли. Ядро Земли находится под давлением около  $2 \cdot 10^6$  атм ( $\approx 2 \cdot 10^6$  МПа) и состоит из жидкой (внешней) и твердой (внутренней) фазы. В жидкой оболочке осуществляется конвекция за счет разности температур в нижней и верхней частях, при этом жидкая магма заряжается. Вращение Земли придает движению жидкой оболочки спиральный характер, поэтому можно считать, что существуют внутренние круговые токи, которые и создают магнитное поле. У планет, не имеющих жидкой оболочки ядра и слишком медленно вращающихся, магнитного поля нет. Кроме Земли магнитосферой обладают Юпитер и Сатурн.

Одним из сложных вопросов для обучающихся является вихревой характер магнитного поля. Определение потенциа-

ности электростатического поля связано с равенством нулю работы по перемещению электрического заряда по замкнутому контуру. Казалось бы, работа магнитного поля по перемещению электрического заряда (работа сил Лоренца) по замкнутому контуру также равна нулю. Почему в этом случае мы не говорим о потенциальности магнитного поля? Для обучающихся вихревой характер следует связывать с замкнутостью линий индукции, которые охватывают токи. Отсутствие магнитных зарядов является причиной вихревого характера магнитного поля. Вихревое поле нельзя описать с помощью скалярной величины, подобно потенциалу электростатического поля  $\varphi$ . В методических рекомендациях по изучению стационарного тока уже было указано на то, что и электрические поля могут быть непотенциальными в случае замкнутости линий напряженности.

Такие понятия и законы электродинамики, как магнитное поле, магнитная индукция, магнитный поток, индуктивность, явление электромагнитной индукции, законы Ампера, Фарадея, Максвелла, используются при изучении общетехнического предмета «Общая электротехника с основами электроники». Другие понятия электродинамики развиваются: вращающий момент контура с током; энергия магнитного поля. Наряду с этим в общетехнических и специальных предметах изучаются понятия, обычно не рассматриваемые в курсе физики. К ним относятся магнитодвижущая сила, полный ток, вращающееся магнитное поле, линейные и фазные напряжения (токи) и др.

При изучении вопроса «Магнитные свойства вещества» необходимо рассказать о применении новых магнитных сплавов с высокими магнитными характеристиками и объяснить принцип магнитной записи звука с кратким анализом сущности этого метода и его значения для информатики и ЭВМ. Пользуясь соответствующей схемой следует довести до сведения обучающихся, как производятся запись и воспроизведение звука на магнитные носители и стирание записи с помощью магнитных головок (тороидальных электромагнитов, по обмотке которых протекает переменный ток, воздействующий на магнитный материал пленки). Само явление основано на сохранении остаточной намагниченности ферромагнитного материала слоя носителя. Этот же принцип использован в запоминающих устройствах ЭВМ. Запись информации производится также с помощью магнитной головки, действующей на тонкий слой ферромагнитного материала, нанесенного на немагнитную подложку в виде ленты, цилиндра, диска и др. Информация в магнитном запоминающем устройстве записывается в двоичной системе, где «0» и «1» отмечаются два состояния остаточной намагниченности материала

в двух противоположных направлениях. Средой для хранения информации служат ферриты.

Углубление знаний обучающихся о явлении *электромагнитной индукции* осуществляется исходя из логики развертывания учебного материала [3]. Тема является предшествующей для изучения электромагнитных свободных колебаний и цепей переменного тока. Без понимания и усвоения главного понятия темы — вихревого электрического поля — нельзя добиться глубокого усвоения последующих тем.

При изучении данной темы наиболее четко прослеживаются связи между переменными электрическими и магнитными полями. Она является основой для понимания единства электромагнитного поля, изучения в дальнейшем электромагнитных колебаний и волн. Тема имеет большую методологическую значимость. На историческом материале можно показать процесс получения новых знаний и возникновения новой теории, идеи поля.

Обычно изучение явления начинается с исторических опытов Фарадея (три серии). Из опытов необходимо сформулировать три вывода:

- когда возникает индукционный ток в проводящем контуре;
- от чего зависит значение индукционного тока;
- от чего зависит направление индукционного тока.

Явление электромагнитной индукции рассматривается как в системе отсчета, относительно которой магнит (магнитное поле) неподвижен, так и в системе, относительно которой неподвижен проводник. В явлении электромагнитной индукции особенно заметно проявляются связь электрического и магнитного полей (относительность деления полей на электрические и магнитные), роль систем отсчета в объяснении электромагнитных явлений и процессов.

На первых занятиях по данной теме обучающиеся должны уметь определять признаки явления электромагнитной индукции, условия его возникновения и наблюдения. На основе опытов и других способов получения индукционного тока дается определение электромагнитной индукции. Обучающиеся должны знать условия, при которых в замкнутом проводнике возникает индукционный ток: при изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, в нем возникает электрический ток. Следует обратить внимание обучающихся на определение электромагнитной индукции, которое включает в себя *признак* явления: электрический (индукционный) ток; *условия* возникновения явления: замкнутый (проводящий) контур и изменяющийся во времени магнитный поток, который пронизывал площадь поверхности контура; *причину* явления: электрическое поле, создающее электрический ток.

Закон электромагнитной индукции записывается в виде  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  и формулируется так: ЭДС индукции равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.

Из закона электромагнитной индукции следуют два способа получения и две причины возникновения индукционного тока или ЭДС индукции:  $\Delta\Phi = B\Delta S + S\Delta B$ ;  $\mathcal{E} = -\left(B\frac{\Delta S}{\Delta t} + S\frac{\Delta B}{\Delta t}\right)$ .

Первое слагаемое в первой формуле отражает возникновение ЭДС при изменении площади контура в постоянном магнитном поле. Если площадь контура  $S$  изменяется, то части проводника, образующие его, приходят в движение. Тогда на заряды в этих проводниках действует сила Лоренца, которая и перемещает эти заряды. Отсюда рассчитывается ЭДС индукции в движущихся в постоянном магнитном поле проводниках:  $\mathcal{E} = Blvsina$ . Второе слагаемое отражает возникновение ЭДС индукции при изменении магнитного поля через контур с постоянной площадью поверхности. В этом случае проводники и заряды неподвижны, а обучающимся уже известно, что на неподвижные электрические заряды может действовать только электрическое поле. Если в покое проводнике возник электрический ток, значит, на находящиеся в нем свободные электроны подействовало электрическое поле. Возникает вопрос: за счет чего же оно появилось, ведь в системе отсчета, связанной с неподвижным проводником, есть только меняющееся магнитное поле? В ходе эвристической беседы можно предположить, что изменяющееся магнитное поле вызывает появление электрического поля. Это поле называют индукционным или вихревым электрическим полем; оно не связано непосредственно с электрическими зарядами, и его линии незамкнутые — у них нет ни начала, ни конца. Такое электрическое поле является вихревым и имеет переменный характер. Напряженность вихревого электрического поля обратно пропорциональна расстоянию, поэтому оно обнаруживается гораздо дальше от источника возбуждения, чем электростатическое.

Вихревое электрическое поле, предсказанное Максвеллом, является одним из новых важнейших понятий для обучающихся, его свойства следует сопоставить с потенциальным электрическим полем.

Отличия вихревого поля от потенциального следующие: источник поля — переменное магнитное поле; силовые линии замкнуты; энергетической характеристикой является ЭДС индукции; нет понятий потенциала и разности потенциалов; работа сил поля по замкнутой траектории не равна нулю.

Существуют серия эффектных опытов по демонстрации вихревого электрического поля, вихревых токов, выразительные

анимации и модели в электронных учебных пособиях по применению электромагнитной индукции и вихревых токов на практике.

Есть еще одна тема для анализа — сравнение ЭДС источника и ЭДС индукции, которые действуют в замкнутых цепях и создают электрический ток. Известны два методических подхода для определения направления ЭДС индукции и, соответственно, направления индукционного тока. Один из них — формальный, основанный на выборе направления обхода контура и сравнения направления индукционного тока с выбранным обходом, т.е. знак ставится, как в законах Кирхгофа; другой, наиболее часто используемый, основан на законе сохранения энергии. Действительно, когда магнит приближается, например, к замкнутому витку, внешние силы совершают работу. Эта работа должна превратиться в какую-нибудь форму энергии. В данном случае в энергию индукционного тока. Значит, индукционный ток должен препятствовать приближению магнита к витку, отталкиваться от него, иначе нарушается закон сохранения энергии. В электрическую энергию превращается не только механическая, но и энергия магнитного поля.

Выделим сравнительные характеристики ЭДС источника тока и ЭДС индукции. *ЭДС источника тока* возникает только в определенном участке цепи, который называется внутренним; определяется работой сторонних сил; не зависит от сопротивления цепи; направление выбирается внешними сторонними силами. *ЭДС индукции* возникает во всех точках цепи, нет понятий внутреннего и внешнего участка; определяется работой магнитных сил; не зависит от сопротивления цепи; направление выбирается по закону электромагнитной индукции.

Из опыта «прибор Ленца» правило формулируется сначала как экспериментальное утверждение о поведении витка: индукционный ток своим магнитным полем препятствует относительному перемещению витка и магнита: при приближении между ними возникает отталкивание, при удалении — притяжение. Это может быть в том случае, если виток, превращаясь в электромагнит, изменяет магнитные полюса, которые так своеобразно взаимодействуют с полюсами постоянного магнита. Затем примеры, опыты, умозаключения обобщаются в правило, которое формулируется в общем виде.

*Правило Ленца:* индукционный ток в замкнутом контуре имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле противостоит изменению создающего его магнитного потока.

Как показывает практика, обучающиеся с трудом запоминают его, а еще труднее применяют для определения направления индукционного тока, поэтому изложение нужно вести поэтапно, согласно следующим шагам:



- определить направление вектора магнитной индукции  $B$ ;
- определить знак изменения потока магнитной индукции  $\Delta\Phi$ ;
- определить направление вектора магнитной индукции магнитного поля индукционного тока  $B_{\text{инд}}$  (при  $\Delta\Phi > 0$   $B_{\text{инд}} \uparrow$ , при  $\Delta\Phi < 0$   $B_{\text{инд}} \downarrow$ );
- пользуясь правилом буравчика, определить направление индукционного тока.

Как видно из приведенного алгоритма изложения, только в одном, третьем шаге используется правило Ленца, который обосновывает знак «-» в законе электромагнитной индукции, направление ЭДС и индукционного тока.

Магнитный поток внутри проводящего контура зависит от силы тока в контуре, формы и размеров контура, а также магнитных свойств окружающей среды. Величина, влияющая на магнитный поток, создаваемый током в проводящем контуре, называется *индуктивностью контура* и обозначается  $L$ . Можно связать значение магнитного потока с силой тока, который его создает:  $\Phi = LI$ , т.е. поток магнитной индукции пропорционален току, создающему магнитное поле.

Индуктивность — физическая величина, характеризующая способность проводящего контура создавать магнитное поле; зависит от геометрических размеров и формы контура, а также магнитной проницаемости среды, пронизывающей контур.

Приведем примеры осуществления принципа профессиональной направленности преподавания физики (табл. 17) [17].

При изучении основных понятий раздела «Основы электродинамики» следует подчеркнуть, что современная электродинамика относится к тем разделам физической науки, которые являются релятивистскими. Обычно релятивистские эффекты проявляются в тех случаях, когда скорость объекта  $v$  приближается к скорости света  $c$  ( $v \rightarrow c$ ). Но магнетизм как раз и проявляется при  $v \rightarrow c$ .

Из раздела «Основы электродинамики» одним из важнейших для формирования научной системы понятий у обучающихся является понятие *электромагнитной индукции*. В современном производстве, любой отрасли промышленности и техники имеют дело с различными техническими устройствами и машинами, создающими или преобразующими электрическую энергию (электрогенераторами, электродвигателями, трансформаторами и т.д.). Явление электромагнитной индукции позволяет раскрыть сущность получения однофазного и трехфазного переменного тока, используемого во всех отраслях промышленности. Дальнейшая конкретизация параметров переменного тока будет дана при изучении общетехнического предмета «Общая электротехника с основами электроники».

Таблица 17. Примеры осуществления принципа профессиональной направленности преподавания физики

Физические понятия, явления и законы	Примеры конкретизации явлений, понятий и законов на учебном материале профессионального характера
Закон Ампера	Знание закона Ампера необходимо для понимания работы стартера автомобиля, так как главной частью стартера является электродвигатель постоянного тока
Электромагниты	В качестве примеров применения электромагнитов можно указать на использование электромагнитных реле в ограничителях тока, регулятора напряжения, реле сигналов при включении стартера
Электромагнитная индукция	Явления электромагнитной индукции и самоиндукции находят практическое применение в системе зажигания автомобиля для получения высокого напряжения, необходимого для «зажигания» свечи; при объяснении принципа магнитной дефектоскопии и сути методов разведки руд и т.д.
Вихревые токи	Вихревые токи используются для деформирования подвижных частей приборов, в частности для успокоения колебания стрелок в спидометре и тахометре

Следует обратить внимание на особенность связи курса физики с электротехникой и промышленной электроникой. Особенность этой связи состоит в том, что самый большой раздел физики «Основы электродинамики» почти полностью «работает» на формирование общетехнических знаний у обучающихся по электрорадиотехническим специальностям. В этом случае связь устанавливается не только через отдельные понятия и явления, но и через отдельные темы (электростатика, постоянный ток в различных средах, переменный ток, магнитное и электромагнитное поля и т.д.).

Рекомендуется тему заканчивать рассмотрением экологических вопросов, связанных с воздействиями магнитного поля на объекты природы табл. 18.

Завершить изучение раздела «Основы электродинамики» можно электромеханической аналогией (табл. 19).

Следует напомнить обучающимся, что силы упругости, трения и поверхностного натяжения имеют электромагнитную природу

Таблица 18. Экологические вопросы, связанные с воздействиями магнитного поля

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
Магнитное поле. Вектор магнитной индукции	Магнитное поле как экологический фактор. Характеристика магнитного поля Земли и искусственных магнитных полей. Роль геомагнитного поля в сохранении жизни на Земле	Обеспечивать развитие теоретической базы для оценочного отношения к деятельности человека в природе. Формировать умения оценивать состояние среды и предупреждать ее загрязнение
Сила Лоренца	Причины реакции рыб и птиц на геомагнитное поле. Способы очистки воздуха от аэрозольных и пылевых загрязнений	Способствовать развитию научного подхода к объяснению природных явлений. Формировать умение предвидеть негативное влияние на окружающую среду и предупреждать его
Магнитные свойства вещества	«Магнитные» органы представителей живой природы. Поиски пресной воды. Проблема энергетических ресурсов. Способы отделения железа от отходов металлургического производства	Подвести обучающихся к пониманию системы со сложными взаимосвязями. Способствовать развитию умения охранять окружающую среду от разнообразных загрязнений

Таблица 19. Электромеханическая аналогия

	Механика	Электродинамика
Перемещение $x$		Заряд $q$
Скорость $v$		Сила тока $I$

Механика	Электродинамика
Масса $m$	Индуктивность $L$
Жесткость $k$	Величина, обратная емкости $1/C$
Сила $F$	Напряжение $E$
Импульс $p = mv$	Поток магнитной индукции $\Phi$
Работа $A = Fvt$	Работа $A$
Мощность $N = Fv$	Мощность $N$
Кинетическая энергия $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Энергия магнитного поля $W_m = \frac{LI^2}{2}$
Потенциальная энергия $E_n = \frac{kx^2}{2}$	Энергия электрического поля $W_{эл} = \frac{Q^2}{2C}$

### Систематизация учебного материала

Целесообразно провести сравнительный анализ свойств электростатического, стационарного, магнитного и вихревого электрического полей в форме табл. 20.

Таблица 20. Сравнительный анализ свойств электростатического, стационарного, магнитного и вихревого электрического полей

Характеристики	Поле			
	электростатическое	стационарное	магнитное	вихревое электрическое
Источники				
Работа поля				
Форма силовых линий				
Силовая характеристика и ее модуль				
Энергетическая характеристика				



Рис. 10. Этапы изучения полей

Вещество и поле обладают рядом как общих черт, так и отличительных (см. табл. 12).

Электромагнитное поле условно разделяют на свободное и связанное. Связанное поле неразрывно связано с электрическим зарядом, а свободное — как бы «отрывается» от заряда и распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн.

В качестве средства структурирования учебного материала предлагаем СЛС, отражающую основные этапы изучения полей, рис. 10 [11, с. 174].

**МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. УПРУГИЕ ВОЛНЫ**  
(гл. 14, 15)**Уровни усвоения содержания учебного материала****1. Знание и понимание**

- Опишите колебательное движение и волновой процесс.
- Приведите пример опыта, позволяющего подтвердить теоретическое представление, что звук — механическая волна.
- Дайте определение физических величин: *частота, период, амплитуда, фаза колебаний, длина волны*.
- Укажите единицы перечисленных величин.
- Сформулируйте определение резонанса.
- Перечислите волновые явления.
- Назовите основные части автоколебательной системы.
- Выпишите формулы, отражающие основное содержание данной темы.

**2. Применение знаний (базовый уровень)**

- Установите связи между величинами (используя метод размерностей), входящими в формулы, описывающие колебательное движение и волновой процесс.
- Раскройте физический смысл величин: частота, период, амплитуда, фаза колебаний, длина волны.
- Укажите условия для возникновения и распространения продольных и поперечных волн.
- Объясните суть метода векторных диаграмм.
- Выделите основные признаки колебательного движения.
- Опишите особенности свободных, затухающих и вынужденных колебаний.
- Используя теоретические модели, объясните затухание колебаний математического и пружинного маятников, а также

возможность услышать звуковой сигнал от источника, скрытого за препятствием.

- Укажите практическое применение изученного материала.

### 3. Применение знаний (повышенный уровень)

- Раскройте содержание физических величин: частота, период, амплитуда, фаза колебаний, длина волны в соответствии с обобщенными планами. Покажите ваши знания об этих величинах в аналитической и графической формах.
- Проведите сравнительный анализ свободных, затухающих и вынужденных колебаний.
- Разработайте возможную систему действий и конструкцию экспериментального определения периодов колебаний математического и пружинного маятников.
- Выделите условия наблюдения и основные закономерности интерференции и дифракции волн.
- Установите связи между формулами кинематики, описывающими колебательное движение и волновой процесс.
- Укажите границы (область, условия) применимости уравнений, описывающих колебательное движение и волновой процесс.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### | Методические рекомендации

Известен подход, называемый «восхождением от абстрактного к конкретному», который предполагает первоначальное введение обобщающего понятия и дальнейшее наполнение его конкретным содержанием. Поэтому в начале темы «Механические колебания» можно ввести понятие механического колебания как периодически повторяющегося в пространстве и во времени движения при постоянной смене последовательности прохождения механической системой любых двух своих состояний, а затем организовать изучение обучающимися различных характеристик механического колебания и закономерностей их изменения для разных видов механических колебаний. Другой подход может быть реализован на базе предшествующего эмпирического опыта обучающихся.

Разновидность периодического движения — колебательное. Рассматривая примеры различных *колебательных систем*,

необходимо указать то общее, что характерно для любой из них: наличие устойчивого положения равновесия, инертность, обеспечивающая прохождение телом положения равновесия и, таким образом, установление колебательного движения вместо простого возвращения тела в положение равновесия при достаточно малом трении в системе. Если в системе отсутствует трение, то свободные колебания называются *собственными*, они происходят с собственной частотой, которая определяется только параметрами системы.

Следует обратить внимание обучающихся на то, что *гармонические колебания* — качественно новый вид движения, в котором ускорение непрерывно изменяется по модулю и направлению [20]. При анализе уравнения  $a = -\frac{k}{m}x$ , или  $a = -\frac{g}{l}x$ , нужно акцентировать внимание на том, что при большой деформации пружины (или большом отклонении маятника от положения равновесия) нарушается прямая пропорциональность между ускорением и смещением. Постоянный коэффициент  $\frac{k}{m}$  (или  $\frac{g}{l}$ ) становится зависимым от деформации пружины (или угла отклонения нити), уравнение перестает быть линейным — движение будет периодическим, но не гармоническим (при изучении данных вопросов естественно использовать межпредметные связи с математикой).

Таким образом подводим обучающихся к выводу: при отсутствии рассеяния энергии и достаточно малых амплитудах свободные колебания маятников являются гармоническими. Вводя понятие частоты, периода, амплитуды и фазы колебаний следует подчеркнуть, что именно эти величины, а не смещение, скорость и ускорение колеблющейся точки в данный момент времени характеризуют колебательный процесс в целом.

*Фаза* гармонического движения показывает, какая часть периода прошла с момента начала наблюдения колебаний. При данной амплитуде колебаний фаза полностью определяет смещение колеблющегося тела в любой момент времени и по модулю и по знаку. Если начать отсчет времени, когда движущаяся по окружности точка занимает такое положение, когда ее начальная фаза равна нулю, то зависимость смещения от времени выражается формулой  $s = A \sin \omega_0 t$ , где  $A$  — максимально значение колеблющейся величины, называемое *амплитуде* колебания;  $\omega_0$  — круговая (циклическая) частота, т.е. графическая зависимость  $s$  от  $t$  является синусоидой.

Формула  $s = A \cos \omega_0 t$  описывает гармоническое колебательное движение, т.е. выражает зависимость смещения колеблющейся точки от времени в том случае, когда ее начальная фаза равна нулю и начало отсчета времени взято в момент ее амплитудного



отклонения. Если же начало отсчета времени взять не в момент нулевого отклонения и не при амплитудном отклонении точки, то зависимость  $s$  от  $t$  выразится формулой  $s = A\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$  или  $s = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ , где  $\varphi_0$  — начальная фаза колебания;  $\omega_0 t + \varphi_0$  — фаза колебания в момент времени  $t$ . Фаза колебания определяет значение колеблющейся величины в данный момент времени по модулю и знаку. Так как синус и косинус изменяются в пределах от +1 до -1, то  $s$  может принимать значения от  $+A$  до  $-A$ .

Необходимо выделить основные признаки колебательного движения: прямая пропорциональность силы смещению и противоположность направления смещения и действующей силы. Имеет смысл пояснить зависимости периода колебаний пружинного или математического маятника на качественном уровне. Например, при увеличении коэффициента упругости  $k$  при том же отклонении от положения равновесия  $x$  растет сила упругости  $F = -kx$ . Следовательно, увеличивается ускорение, тело быстрее проходит тот же путь — период уменьшается. Если увеличить массу груза, то при том же смещении та же упругая сила будет сообщать ему меньшее ускорение — период возрастает.

Необходимо остановиться на причинах резкого возрастания амплитуды колебаний при *резонансе* и обратить внимание на использование резонанса в быту и технике.

После ознакомления с *поперечными* и *продольными волнами* выделяются характерные черты волнового движения — в пространных происходит передача энергии, сами же колеблющиеся частицы не перемещаются, переноса вещества в волне не происходит. В упругих средах скорость волн определяется их свойствами по отношению к тому или иному типу деформаций и плотностью самой среды. На опыте, изменяя натяжение резинового шнура, можно проиллюстрировать зависимость скорости распространения волн от упругих свойств среды, показав, что колебания распространяются быстрее, если сильнее натянуть шнур. Зависимость между скоростью волны и плотностью среды можно показывать, возбуждая колебания сначала пустой трубки, а затем трубки, наполненной водой. В твердом теле продольные и поперечные волны распространяются с различной скоростью, так как в первом случае их распространение связано с деформацией сжатия, во втором — с деформацией сдвига. Упругие свойства твердого тела в отношении этих видов деформации также неодинаковы, отсюда различие и в скорости распространения этих волн.

При изучении колебаний обучающиеся познакомились с графиком зависимости координаты колеблющейся точки от времени. При рассмотрении упругих волн они встречаются с графиками, которые внешне похожи на предыдущий, — график зависимости смещения колеблющихся точек от их расстояния

до источника волн для фиксированного момента времени и график зависимости смещения от времени для фиксированной точки среды в волновом процессе.

При изучении звуковых волн следует довести до понимания обучающихся, что заметное увеличение шумового фона оказывает отрицательное воздействие на организм человека, особенно в период его развития. Медицинские исследования показывают, что каждый пятый подросток плохо слышит, причина — частое использование наушников и шумов на дискотеках. Относительно комфортным считается акустический режим на уровне звука 10 — 60 дБ, для нервной системы вреден шум свыше 60 дБ. Воздействие сильного шума может вызвать такие последствия, как звон в ушах, головокружение, головная боль, усталость. Необходимо дать обучающимся советы по уменьшению воздействия шума. В связи с рассмотрением звука нужно использовать знания обучающихся об органе слуха (его строении и функциях).

### **Систематизация учебного материала**

Для систематизации учебного материала следует организовать работу обучающихся по выявлению внешних признаков, условий, при которых протекают колебательные и волновые явления; проанализировать сущность колебательных и волновых явлений и механизм их протекания; указать взаимосвязь данных явлений (в том числе связь с другими); дать определение количественных характеристик; показать использование явлений на практике, их проявления в природе (полезные и вредные). Систематизацию учебного материала по теме «Механические колебания» ТЭК можно осуществить с помощью табл. 21.

Усвоению вопросов о гармонических, затухающих, вынужденных колебаниях и резонансе будет способствовать разделение подразделов данной главы на смысловые части: опыты по введению понятия; определение понятия; пояснительные примеры; иллюстрации; выделение сведений исторического характера; основная формула; вывод формулы (разбор этого вывода); применение явлений, закономерностей, приборов.

Предоставьте обучающимся самостоятельно сделать заключение — выводы (самое важное) по теме «Механические колебания», используя логическую цепочку: колебательные системы — свободные колебания — затухающие колебания — вынужденные колебания — резонанс — волновые явления — характеристики колебательных и волновых процессов — проявление и применение изученных явлений.

Целесообразно дать обучающимся задание обобщающего характера — заполнить таблицу, отражающую свойства механических

Т а б л и ц а 21. Классификация колебаний

Тип колебаний	Условия возникновения колебаний	Чем определяется	
		период колебаний	амплитуда колебаний
Свободные	Колебательная система (КС) при наличии первоначального запаса энергии	Собственными параметрами КС: $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ ; $T = 2\pi\sqrt{l/g}$	Начальными условиями
Вынужденные	Любая система при наличии внешнего, периодически изменяющегося воздействия	Частотой внешнего, периодически изменяющегося воздействия	Амплитудой внешнего воздействия, соотношением частот $\nu_{\text{внеш}} = \nu_{\text{собств}}$ , диссипативными потерями энергии в КС
Автоколебания	Автоколебательная система (АКС) при наличии внешнего источника энергии	Собственными параметрами КС	Параметрами АКС (ее нелинейностью)

волн следующих диапазонов: менее 16 Гц; 16 — 20 · Ю<sup>3</sup> Гц; более 20 · 10<sup>3</sup> Гц. Необходимо при этом указать названия диапазонов, источники волн и методы фиксации, а также область применения.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ (гл. 16, 17)

### Уровни усвоения содержания учебного материала

#### 1. Знание и понимание

- Приведите пример опыта, позволяющего подтвердить представления о существовании электромагнитных волн.
- Опишите свойства электромагнитного поля, электромагнитных волн.
- Укажите внешние проявления явлений: свободных, затухающих и вынужденных колебаний, резонанса напряжений.
- Дайте определения физических величин: *мгновенные значения тока, заряда; амплитуды тока, заряда, напряжения;*

*частота и период колебаний; полная энергия колебательной системы; коэффициент затухания; время релаксации; индуктивное и емкостное сопротивление; действующее напряжение и сила тока; коэффициенты мощности и трансформации; длина волны; частота; фаза.*

- Укажите единицы перечисленных величин.
- Опишите устройство колебательного контура, генератора незатухающих электромагнитных колебаний и генератора тока, трансформатора, радиопередатчика и радиоприемника.
- Воспроизведите в математической форме уравнения свободных электромагнитных колебаний, формулы Томсона, объемной плотности энергии, формулу, связывающую скорость, длину волны и частоту.
- Графически изобразите схему электромагнитной волны.

## **2. Применение знаний (базовый уровень)**

- Опишите характерные закономерности при наблюдении и экспериментальных исследованиях свободных, затухающих и вынужденных колебаний, резонанса напряжений.
- Раскройте физический смысл величин: мгновенные значения тока, заряда; амплитуды тока, заряда, напряжения; коэффициент затухания; время релаксации; индуктивное и емкостное сопротивление; действующее напряжение и сила тока; коэффициенты мощности и трансформации; объемной плотности энергии.
- Найдите аналогию между механическими и электромагнитными характеристиками колебательных систем и колебаний, их свойствами и законами.
- Постройте графики зависимости электрических величин от времени.
- Обоснуйте условия возникновения резонанса в электрической цепи.
- Объясните условия возбуждения, излучения и распространения электромагнитных волн; физическую сущность модуляции и детектирования электромагнитных волн.
- Приведите примеры практического применения изученных явлений, законов, приборов, устройств.

## **3. Применение знаний (повышенный уровень)**

- Установите связи между рассмотренными формулами, законами и однопорядковыми элементами классической механики и электродинамики.
- Раскройте содержание указанных выше явлений и законов в соответствии с обобщенными планами.

Проведите сравнительный анализ свободных, затухающих и вынужденных колебаний.

Проиллюстрируйте роль физики в создании и совершенствовании следующих технических объектов: колебательного контура, генератора незатухающих электромагнитных колебаний и генератора тока, трансформатора, радиопередатчика и радиоприемника.

Выведите формулы для расчета периода свободных колебаний и полной энергии электромагнитного поля колебательного контура.

Объясните возникновение свободных, затухающих и вынужденных электромагнитных колебаний.

Раскройте влияние электромагнитной теории на развитие физической картины мира.

Разработайте план и систему действий экспериментального определения периода свободных колебаний.

Укажите границы (область, условия) применимости указанных выше уравнений и законов.

Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### **Методические рекомендации**

Одной из основных задач данного раздела является формирование единого подхода к изучению колебаний и волн различной природы. При этом следует показать и принципиальные различия упругих и электромагнитных волн, что позволит избежать механистических представлений. Для этого необходимо раскрыть ряд принципиальных особенностей волн различной природы:

а) механические волны могут возникать только в веществе (упругой среде); электромагнитные волны возможны и в вакууме;

б) механические волны могут быть как поперечными так и продольными; электромагнитные волны (в вакууме или диэлектрике) являются только поперечными;

в) скорость упругих волн определяется свойствами среды и зависит от системы отсчета; скорость электромагнитных волн в вакууме инвариантна относительно системы отсчета.

Повысить мотивацию изучения обучающимися данного раздела можно на основе разъяснения теоретического и практического

значения электромагнитных колебаний и волн в радиоэлектронике: радиосвязи, радиовещании, телевидении, радиолокации, радиоуправлении, радиотелеметрии, радиоастрономии, радиометеорологии, разведке полезных ископаемых и т.д.

Основной методический прием темы — аналогия электромагнитных колебаний с механическими при различной природе колебаний. Содержательная опора темы — электромагнитная индукция, закон сохранения энергии, свободные колебания механических колебательных систем.

Теория колебаний стоит особняком от теории других видов движения [3]. Если задача механики состоит в определении положения тела в любой момент времени, то к теории колебаний добавляется еще одна — описание колебания в целом, т.е. определение частоты и периода колебательной системы. Другая особенность теории заключается в том, что она выделяется по общности метода изучения, а также закономерностей независимо от физического содержания.

Формирование целостной картины колебательных и волновых явлений требует рассмотрения данных тем в курсе физики для СПО. Это позволяет обучающимся увидеть общность механических и электромагнитных колебаний: общих причин, закономерностей, общего подхода к изучению колебательных процессов. Задача преподавателя кроме формирования системы знаний по электрическим колебаниям и волнам — обобщить знания обучающихся о всех видах колебаний, показать действенность методов аналогии, переноса знаний, общность теории колебаний и методов решения задач. Ведь по образному выражению Л.И.Мандельштама, «каждая из областей физики — оптика, механика, акустика — говорят на своем национальном языке. Но есть интернациональный язык, и это язык теории колебаний».

Изучение темы «Электромагнитные колебания» следует начать с роли составляющих частей колебательного контура в получении свободных колебаний; рассмотреть разрядку конденсатора на сопротивление и на катушку индуктивности. Если конденсатор разряжается на сопротивление, то заряд и напряжение на обкладках падают до нуля за определенное время, которое называется *временем релаксации*. В такой цепи ток также упадет до нуля, и колебаний нет. Если конденсатор разряжать на катушку индуктивности, то в ней возникает ЭДС самоиндукции, поддерживающая ток разрядки и перезаряжающая конденсатор. В цепи появляется переменный ток, возникают электромагнитные колебания.

Необходимо детально рассмотреть динамику образования свободных электромагнитных колебаний; обратить внимание обучающихся на то, какие величины в этом процессе «колеблются» (заряд конденсатора, ток в катушке, напряжение на конденсато-

ре и катушке, ЭДС самоиндукции), какие превращения энергии при этом происходят; вспомнить основные признаки любой колебательной системы и задать вопрос: что считать устойчивым положением равновесия в этой системе (разряжен конденсатор, нет тока в контуре), фактором «инертности», обеспечивающим прохождение положения равновесия «по инерции» (индуктивность катушки, благодаря которой конденсатор разряжается не сразу, а перезаряжается, и тем самым обеспечивается периодичность процесса)?

Обучающимся предлагается составить таблицу, показывающую аналогию между величинами в механической и электромагнитной колебательных системах.

Энергетические преобразования в колебательном контуре лучше изучить позже, отдельно, проводя аналогию с энергетическими преобразованиями в пружинном маятнике. При этом заметить, что закон сохранения энергии не объясняет явлений, он констатирует тот факт, что энергия превращается, сохраняется, переходит в другой вид. Поэтому анализ любого явления должен содержать в первую очередь динамическую часть, а затем описательную с энергетической точки зрения.

Колебательная система, в которой происходят свободные колебания, обладает следующими свойствами:

- отсутствуют потери энергии или они малы (в колебательном контуре сопротивление  $R$ , на котором выделяется теплота, отсутствует или оно небольшое);
- наличие положения устойчивого равновесия (в колебательном контуре — при напряжении на конденсаторе, равном нулю  $U_c = 0$ );
- в положение устойчивого равновесия система приходит сама и проходит его вследствие «инертности», наличия «инерционного» элемента (в колебательном контуре конденсатор разряжается и перезаряжается из-за явления самоиндукции, возникающего в катушке индуктивности);
- собственной частотой, зависящей от ее параметров (в колебательном контуре ими являются индуктивность катушки и емкость конденсатора).

Из аналогии механических и электрических колебаний должна следовать аналогия и в законах, описывающих колебания. Для механических гармонических колебаний существует два вида уравнений: динамическое  $a = -\omega_0^2 x$  (по-другому, следствие второго закона Ньютона) и кинематическое  $x = f(t)$ . Из первого уравнения решается задача теории колебаний: описать колебание в целом; из второго — определяется положение колебательной системы в любой момент времени.

Для электрических колебаний «динамическим» уравнением будет связь между аналогами ускорения и смещения. Если ана-

лог смещения  $x$  заряд  $Q$ , то аналогом ускорения будет скорость изменения тока, значит, для решения первой задачи теории колебаний надо получить в дифференциальном виде уравнение зависимости  $\frac{di}{dt} = f(Q)$ . В механике динамическое уравнение следует из закона Ньютона  $F = ma$ . В электричестве аналогом переменной силы является переменная ЭДС самоиндукции, аналогом массы — индуктивность катушки. Значит, с учетом наличия ЭДС «динамическое» уравнение можно записать так:  $\mathcal{E} = \frac{dI}{dt}$

«Динамическое» уравнение, которое мы записали по аналогии (что свидетельствует о единстве математического аппарата теории колебаний) есть закон электромагнитной индукции для явления самоиндукции.

В любой момент времени ЭДС самоиндукции равна напряжению на обкладках конденсатора  $U_c = \frac{Q}{C}$ . Отсюда следует выражение  $\frac{dI}{dt} = -\frac{1}{LC}Q$ . Это и есть «динамическое» уравнение для электрических колебаний.

При записи кинематического уравнения обычно утверждается, что существует единственная функция  $(\cos \alpha, \sin \alpha)$ , у которой вторая производная равна самой функции со знаком «-» (доказывается подстановкой). Значит, решением динамического уравнения будет гармоническая функция. Аналитическая запись уравнения сопровождается графиком, по которому конкретизируются понятия амплитуды, периода; вводятся понятия фазы, разности фаз. Понятие фазы очень абстрактное, которое в механике студенты путают с углом отклонения маятников от положения равновесия. Наиболее распространено определение: «величина, стоящая под знаком косинуса или синуса в решении уравнения гармонических колебаний». По сути, это не определение, а указание, где искать эту величину. По этому принципу амплитудой можно назвать величину, стоящую перед синусом или косинусом. Наиболее подходящим по физическому смыслу можно считать такое первичное определение: «фаза — физическая величина, являющаяся одной из характеристик состояния колебательного процесса». Потом его можно развивать по обобщенному плану изучения физической величины: определительная формула, единицы измерения, связь с другими физическими величинами, способ измерения, умение по графикам определять сдвиг фазы, отставание или опережение по фазе.

В качестве упражнения на усвоение понятия «разность фаз» следует организовать самостоятельную работу: наблюдая колебания двух маятников, определить разность фаз этих колебаний и изобразить графически зависимости координаты от времени



на одних и тех же осях (время по оси абсцисс откладывать в долях периода).

Следует повторить обучающимся условия возникновения вынужденных (незатухающих) механических колебаний. Незатухающие электрические колебания нашли широкое применение на практике. Такого рода колебания могут вызываться и поддерживаться источником переменной синусоидальной ЭДС — генератором переменного тока. Электрические колебания, возникающие в цепи под действием гармонически изменяющегося напряжения, называются *переменным током*.

Обучающимся должны быть усвоены понятия, специфичные именно для цепей переменного тока: действующие значения силы тока и напряжения, их отличие от мгновенных, максимальных и средних значений этих же величин, физическая сущность активных и реактивных сопротивлений и способы их вычисления и экспериментального определения, принципиальное устройство генераторов переменного тока, преобразование напряжения (силы тока) переменного тока с помощью трансформатора и др.

Необходимо показать, что:

- сила переменного тока, как и постоянного, определяется напряжением в цепи;
- процессы в цепях переменного тока низких частот носят квазистационарный характер, т.е. в каждый данный момент сила тока на всех участках цепи одна и та же.

Реализовать это можно следующим образом: сначала повторить сведения о том, что приложенное к участку цепи постоянное напряжение создает в нем электрическое поле определенной напряженности. Если, не изменяя приложенного к участку цепи напряжения, изменить переключателем его полярность, то электрическое поле с изменившимся направлением напряженности вызовет ток противоположного направления, но сила тока останется той же (в опыте участком цепи должен быть элемент с линейным сопротивлением). Таким образом, обучающихся подводят к пониманию того, что если на концах цепи напряжение меняется по знаку и модулю (в частности, по гармоническому закону), то в этой цепи меняется напряженность электрического поля внутри проводника и по такому же закону, с той же частотой изменяется сила тока в цепи.

Так как на резисторе мгновенные значения силы тока и напряжения совпадают по фазе, к ним применим закон Ома. Показано, что он справедлив для максимальных и действующих значений силы тока и напряжения. В цепях переменного тока, обладающих реактивным сопротивлением, мгновенные значения силы тока и напряжения не совпадают по фазе. В таких цепях закон Ома выполняется только для максимальных и действующих

щих значений силы тока и напряжения. В этом необходимо убедить обучающихся экспериментально.

Рассмотрение цепи переменного тока, обладающей смешанным сопротивлением, начинают с эксперимента — измеряют напряжение на каждом из последовательно включенных элементов цепи (лампе, катушке индуктивности и батарее конденсаторов), подключенной к источнику переменного напряжения. При изучении переменного тока следует обратить внимание обучающихся на следующие опытные факты [20, с. 216, 217]:

- общее напряжение в цепи не равно сумме напряжений на отдельных участках, как это имело место для цепей постоянного тока;
- колебания напряжения на индуктивности и емкости происходят со сдвигом фаз, равным  $\pi$ . Этот факт целесообразно объяснить следующим образом: известно, что на катушке напряжение опережает ток на  $\pi/2$ , а на конденсаторе отстает от него на ту же величину. Так как мгновенное значение силы тока одно и то же, то ясно, что колебания напряжения на катушке и конденсаторе происходят со сдвигом фаз, равным  $\pi$ , т.е. противоположны;
- полное сопротивление цепи меньше суммы сопротивлений всех включенных в нее элементов (резистора, катушки, конденсатора). Следует показать на опыте, что полное сопротивление этой цепи зависит от частоты. При определенной частоте емкостное и индуктивное сопротивления оказываются равными друг другу, т.е. реактивное сопротивление цепи равно нулю. Тогда падения напряжения на этих элементах цепи равны по амплитуде и противоположны по фазе, в любой момент времени сумма их мгновенных значений равна нулю. Таким образом, сила тока в цепи достигает максимального значения, так как внешнее напряжение фактически приложено только к резистору. В цепи в данном случае имеет место резонанс напряжений, при этом напряжение на каждом из участков, обладающих реактивным сопротивлением, оказывается больше внешнего. Получить резонанс напряжений можно, изменяя частоту подаваемого напряжения или подбирая соответствующим образом индуктивность или емкость последовательно соединенной цепи.

При изучении энергетических превращений в цепях с резистором, катушкой индуктивности или конденсатором целесообразно показать следующий простой опыт: вначале к источнику переменного тока подключают активную нагрузку, например, электроплитку, амперметр, вольтметр и ваттметр. Обучающиеся наблюдают, что в этом случае произведение показаний амперметра и вольтметра примерно совпадает с показанием ваттметра:  $P = IU$ .

Затем рассматривают ту же цепь, но с элементом, обладающим реактивным сопротивлением. Показывают, что в цепи, обладающей чисто индуктивным или чисто емкостным сопротивлением, показания ваттметра близки к нулю и не совпадают с произведением показаний амперметра и вольтметра. Привлекают обучающихся к объяснению такого несовпадения — элемент с чисто реактивным сопротивлением, ограничивая силу тока в цепи, практически не потребляет энергии. Если в течение одной четверти периода энергия положительна (она поступает от источника в цепь и запасается в виде энергии магнитного поля в катушке индуктивности или энергии электрического поля в конденсаторе), то в следующую четверть периода она отрицательна (энергия возвращается к источнику от потребителя). Таким образом, происходит бесполезная циркуляция энергии по проводам от источника к потребителю и обратно, которая расходуется только на нагревание подводящих проводов.

Обучающимся будет интересно узнать, что токи низкой частоты (силой более 50 мА) опасны для человека. Это объясняется тем, что при прохождении тока через ткани амплитуда ионов тканей может превышать пределы ее прочности, поэтому возникает болевое ощущение. Токи высокой частоты (даже силой 3 — 4 А) совершенно безопасны для человека, так как амплитуда колебаний ионов в тканях незначительная и человек никаких неприятных ощущений не испытывает. Токи высокой частоты применяются для поверхностного или глубинного прогрева отдельных участков тела человека в процессе физиотерапевтических процедур, а также при плавлении и поверхностной закалке стали, сушке древесины, овощей и т.п.

Повысить мотивацию познавательной деятельности обучающихся при изучении темы «Электромагнитные волны» можно, опираясь на их знания о Космосе, и предложить им ответить на вопрос: как происходило управление луноходом? А затем наряду с демонстрацией передачи энергии электромагнитными волнами провести демонстрации радиоуправления, например действие радиоуправляемых моделей. Необходимо выделить главные условия излучения электромагнитных волн:

- наличие колеблющихся зарядов, обладающих ускорением;
- наличие электромагнитных колебаний достаточно высокой частоты;
- образование электромагнитных волн в открытом колебательном контуре.

При изучении свойств электромагнитных волн следует обратить внимание на принципы построения шкалы электромагнитных волн; виды излучений; интервал длин волн (частот); устройства, генерирующие эти излучения; индикаторы, с помощью которых их обнаруживают; область применения.

Всю совокупность электромагнитных волн подразделяют на две большие области, которые взаимно проникают друг в друга:

- область электромагнитных волн, создаваемых той или иной аппаратурой;
- область электромагнитных волн, излучаемых молекулами, атомами или их ядрами.

Каждую выделенную область, в свою очередь, по способу генерации можно условно разделить на диапазоны. В первой области выделяют два диапазона:

- низкочастотное излучение (электрические генераторы);
- радиоизлучение (радиоустройства для связи, локации, навигации, радиовещания, телевидения).

Установив различия в свойствах отдельных излучений (по способу генерации, методу регистрации, характеру взаимодействия с веществом и области применения), показывают то общее, что было установлено в процессе изучения различных излучений:

- физическая природа всех излучений одинакова;
- все излучения распространяются в вакууме с одинаковой скоростью, равной скорости света  $3 \cdot 10^8$  м/с;
- все излучения обнаруживают общие волновые свойства (отражение, преломление, интерференцию, дифракцию, поляризацию).

Рекомендуется тему заканчивать рассмотрением экологических вопросов, связанных с электромагнитными колебаниями и волнами (табл. 22) [17, с. 187 — 189].

**Т а б л и ц а 22. Экологические вопросы, связанные с электромагнитными колебаниями и волнами**

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
Переменный электрический ток	Действие переменного тока на организм человека и животных	Ознакомить обучающихся с действием переменного тока как возможным фактором поражения человека
Активное сопротивление	Расчет значения поражающего тока для человека и животных	Формировать умение оценивать действие тока на живые организмы

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
Емкостное сопротивление	Емкостное сопротивление организма человека и животных	Подвести к пониманию сложности процессов в живой природе и необходимости их познания для оптимизации отношений между человеком и окружающей средой
Резонанс в электрической цепи	Один из способов уменьшения потерь энергии во время передачи по проводам	Развивать идею о необходимости бережного отношения к природным ресурсам
Генерирование электроэнергии	Потери электроэнергии в генераторах индукционного типа	Развивать умение предвидеть и оценивать потери электроэнергии
Трансформатор	Экономический эффект передачи тока при высоких напряжениях. Потери энергии в трансформаторах. Пути уменьшения потерь	Способствовать формированию умения предвидеть возможные потери энергии, оценивать и находить средства их уменьшения
Передача электроэнергии	Современная энергетика и ее взаимодействие с окружающей средой. Потери энергии при передаче, пути и средства их уменьшения	Формировать убеждения в необходимости бережного отношения к природным ресурсам и возможности их рационального использования
Успехи и перспективы электрификации	Новые пути решения энергетических проблем. Экологическая оценка разных видов энергии	Развивать умение предвидеть и предупреждать негативное влияние антропогенного фактора на природу

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
Электромагнитное поле	Естественный электромагнитный фон. Искусственные электромагнитные поля	Развивать понятия об абиотическом и антропогенном факторах
Электромагнитные волны. Энергия электромагнитных волн	Влияние естественных и искусственно создаваемых электромагнитных волн на живую природу. Механизм взаимодействия электромагнитных волн с организмом	Подвести обучающихся к осознанному пониманию воздействия электромагнитных волн на организм человека. Способствовать формированию умения оценивать состояние окружающей среды и предсказывать негативное воздействие антропогенного фактора на окружающую среду
Свойства электромагнитных волн	Распределение солнечной радиации «Земля — атмосфера». Влияние загрязнений на энергетический баланс планеты. Экологическая ситуация на предприятиях с мощными источниками электромагнитных волн	Развивать умение научного объяснения природных явлений, оценивать воздействие искусственных электромагнитных полей на представителей живой природы
Плотность потока электромагнитного излучения	Энергетический обмен между электромагнитными волнами и клетками живых организмов	Продолжить формирование теоретической базы для выработки оценочного отношения к результатам человеческой деятельности
Принцип радиосвязи. Распро-	Создание радиолучевого оружия.	Формировать умение предвидеть негативное

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
влияние радиоволн	Влияние радиоволн на человеческий организм. Характеристика действия каждого диапазона радиоволн на живые организмы	влияние антропогенного фактора на природу, предупреждать его. Способствовать развитию умения оценивать результаты деятельности общества на окружающую среду
Радиолокация	Радиолокация в живой природе (летучие мыши и др.)	Формировать идею о единстве законов живой и неживой природы
Понятие о телевидении	Влияние телевидения на человеческий организм. Санитарно-гигиенические требования к просмотру телепередач	Обеспечить теоретическую базу для оценочного отношения к экологическим аспектам телевидения. Формировать умение правильного поведения во время просмотра телепередач
Развитие средств связи	Характеристика искусственно созданных электромагнитных излучений. Меры по защите населения от электромагнитного облучения	Развивать умение предвидеть возможные негативные последствия человеческой деятельности и предупреждать их

### | Систематизация учебного материала

По завершении главы следует предложить обучающимся составить таблицу «Шкала электромагнитных излучений»

**ПРИРОДА СВЕТА. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА  
(гл. 18, 19)****| Уровни усвоения содержания учебного материала****1. Знание и понимание**

- Приведите примеры опытов, обосновывающих научные представления о свете как электромагнитной волне.
- Дайте определения физических явлений: *интерференция, дифракция, поляризация и дисперсия света, голография.*
- Дайте определения физических понятий: *монохроматичность волны, когерентность, геометрический путь, оптический путь света, оптическая разность хода; разрешающая способность объектива и дифракционной решетки, оптическая ось кристалла, плоскость колебаний и плоскость поляризации, оптически активное вещество.*
- Опишите особенности метода зон Френеля, а также дифракции на круглом отверстии.
- Найдите различия и сходства между дисперсионным и дифракционным спектрами.
- Перечислите методы познания, которые использованы при изучении указанных световых явлений.
- Выпишите и сформулируйте условия максимумов и минимумов интерференции, формулу оптической разности хода при интерференции от плоскопараллельной пластинки; условия дифракционного максимума и минимума от щели, главного дифракционного максимума и минимума от дифракционной решетки, а также законы Малюса и Брюстера.

**2. Применение знаний (базовый уровень)**

- Установите связи между величинами, входящими в основные формулы, законы, описывающие явление интерференции,



дифракции света, поляризации, дисперсии света и теории электромагнетизма.

- Измерьте длины волн видимого диапазона, постоянную дифракционной решетки, наибольший порядок спектра, используя описание соответствующих лабораторных работ.
- Обоснуйте прямолинейность распространения света с помощью зон Френеля.
- Объясните способы получения когерентных волн, а также дифракционную картину, полученную для монохроматического и белого света.
- Определите линейную ширину спектров и угловую ширину главных максимумов.
- Вычислите максимальный порядок для данной решетки, число максимумов, максимальный угол дифракции.
- Раскройте содержание указанных выше явлений, величин, используя обобщенные планы.
- Объясните особенности распространения обыкновенного и необыкновенного лучей.
- Укажите практическое применение изученных приборов, устройств, а также область применения изученного материала в целом.

### **3. Применение знаний (продвинутый уровень)**

- Установите связи между основными формулами и законами электродинамики и однопорядковыми элементами содержания волновой оптики.
- Выявите влияние на дифракцию Фраунгофера от одной щели увеличения длины волны и ширины щели.
- Объясните изменения дифракционной картины при увеличении общего числа штрихов решетки, не меняя ее периода.
- Определите условия раздельной видимости спектров и их наложения.
- Объясните принцип действия отражательных дифракционных решеток, картины от природных дифракционных решеток.
- Разработайте план, возможную систему действий и конструкцию экспериментального определения длины волны видимого диапазона, постоянной дифракционной решетки.
- Докажите, что при выполнении закона Брюстера отраженный и преломленный лучи взаимно-перпендикулярны.
- Укажите границы (область, условия) применимости формул, описывающих интерференцию, дифракцию, поляризацию и дисперсию.
- Покажите опасность для здоровья человека инфракрасного, видимого лазерного, ультрафиолетового, СВЧ, рентгеновского излучений и методы защиты от них.

- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### Методические рекомендации

Известно, что свет можно усилить светом. Но можно ли погасить свет светом? С постановки такого вопроса можно начать изучение темы «Интерференция света».

Изучение явлений, как правило, начинается с их определения [3]. В определение любого явления обычно включается его признак или причина. Признаки дисперсии, интерференции и дифракции *одинаковы* для белого света, в котором чаще всего происходит наблюдение явлений, — разложение сложного света на простые составляющие. Поэтому, не зная причину, по внешнему признаку невозможно узнать явление, значит, признак недостаточен для определения. При изучении волновых явлений света будем выделять условия существования и наблюдения. Последнее условие особенно важно при обучении. Часто бывает, что явление есть, однако оно ненаблюдаемо, и даже лабораторными приборами его нельзя зафиксировать. Поэтому и нужно создавать специальные условия не только для наблюдения явления, но и его изучения. И завершающим этапом является отыскание причин, объяснение явления.

Основная задача при изучении темы «Интерференция света» состоит в доказательстве волновых свойств света. Поэтому следует подробно рассмотреть данное явление. В учебнике показано сложение амплитуд на графике. Что рассматривать в качестве величины, определяющей результат усиления или ослабления энергии? Можно выбрать разность фаз, разность хода лучей, разность времени прохождения лучами расстояния от источника до наблюдателя. Указанные величины взаимосвязаны. Но как следует из логики изучения сложения волн, разность фаз первична. Волны могут проходить одинаковое расстояние с одинаковым временем. В этом случае разность фаз определится разностью начальных фаз. В курсе физики среднего профессионального образования рассматриваются излучатели, имеющие одинаковую начальную фазу (синфазные), поэтому привычнее пользоваться понятием «разность хода лучей». Оно нагляднее и менее абстрактно, чем разность фаз. *Разностью хода лучей* называют разность расстояний от источников волн до регистрирующего устройства. Покажем, как можно связать разность фаз

с разностью хода лучей. Обозначим через  $\tau$  разность во времени прохождения лучами расстояния от источников волн до наблюдателя, тогда  $\Delta\varphi = \omega\tau$ , или  $\Delta\varphi = 2\pi\nu\tau$ , где  $\nu$  — частота колебания световой волны. Время запаздывания (или опережения) одного луча от другого связано с разностью хода  $\Delta r$  соотношением  $\tau = \frac{\Delta r}{v}$ ,  $v = \lambda\nu$ , отсюда  $\Delta\varphi = \frac{\omega\Delta r}{v} = \frac{2\pi\Delta r}{\lambda}$ . Из последней формулы можно определить условия изменения энергии результирующей волны через разность хода лучей. Подставляя значения разности фаз  $\Delta\varphi = 2n\pi$  и  $\Delta\varphi = (2n + 1)\pi$  в ф о р м у л у  $\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta r}{\lambda}$ , получаются известные формулы  $\Delta r = n\lambda$  и  $\Delta r = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ .

Обычно регистрируется энергия колебания, поэтому определение интерференции следует давать именно через энергию, а не амплитуду колебания. Признаком интерференции как волнового явления служит интерференционная картина, условием существования — перекрытие двух когерентных волн, причиной — принцип суперпозиции, сложение независимых друг от друга когерентных волн.

Изучение вопроса о том, почему сложение световых волн не дает интерференционного эффекта, связано:

- с повторением классической теории излучения, по которой электрон, связанный с атомом упругими силами, колеблется и излучает порциями световую волну;
- расширением понятия «когерентность».

Электрон, двигаясь с ускорением, излучает световую волну за время  $10^{-8} \sim 10^{-9}$  с. За это время излучается отрезок синусоиды длиной  $l = vt$ , в воздухе равной 0,3 — 1 м. Время излучения электрона называется *временем когерентности*. Отрезки синусоид имеют различную плоскость колебания, различные частоты и начальные фазы у них не совпадают, значит, они некогерентные. Отсюда следует, что волны от независимых источников света не могут интерферировать.

Естественное излучение — это *световой шум*. Такой же, как и звуковой, когда одновременно складываются звуки различных частот и амплитуд. Получение когерентных волн возможно путем разделения одного и того же отрезка синусоиды на две части, а потом сведение их в одно место, т.е. *наложение*. Иначе говоря, излучение каждого отдельного атома разделяют на две части и тем самым заставляют волну, излученную отдельным атомом, интерферировать между собой. При этом можно получить две когерентные волны, у которых частота колебания одинакова, они колеблются в одной плоскости, и разность фаз между ними постоянна. Для получения интерференции разность хода между волнами не должна превышать длину синусои-

ды, которую в физике называют «цугом» (от немецкого слова «шаг»).

Решение проблемы «как создать условия наблюдения интерференции света?» связано с практической реализацией полученного выше вывода. Существует два способа получения когерентных волн из одного отрезка синусоиды: 1) разделить фронт волны и 2) разделить амплитуду колебаний, т.е. энергию волны. Первый способ осуществляется на опыте Юнга, бизеркалах, бипризмах и других устройствах; второй — в интерферометрах и тонких пленках. Соответственно, демонстрационный эксперимент можно разделить на две группы: опыты, в которых наблюдается взаимодействие световых волн от искусственно созданных парных когерентных источников, и опыты, в которых имеет место наложение волн, отраженных или проходящих через тонкие пластины.

Особого объяснения в этом месте темы требует понятие «потери полуволны». Механическим аналогом является отражение упругой бегущей волны от твердого препятствия, при котором направление скорости волны изменяется, поэтому в точке отражения фаза изменяется на противоположную. Потеря полуволны не означает, что надо от разности хода вычитать половину длины волны. С одинаковой частотой встречается запись  $+\lambda/2$  и  $-\lambda/2$ .

Пусть наблюдается интерференция в отраженных лучах на мыльной пленке при нормальном падении лучей. Потеря полуволны происходит на верхней поверхности при отражении от пленки. Разность хода, при котором наблюдается интерференционный максимум:  $\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2} = 2hn \pm \frac{\lambda}{2}$ .

В зависимости от знака перед полуволной условие максимума можно переписать в двух вариантах: 1)  $(2k-1) \frac{\lambda}{2} = 2hn$  при  $k = 1, 2, 3, \dots$ ; 2)  $(2k+1) \frac{\lambda}{2} = 2hn$  при  $k = 0, 1, 2, \dots$

Обучающихся необходимо научить правильному выбору начала нумерации порядка максимумов и минимумов.

Максимум в отраженном свете соответствует его минимуму в проходящем, так как интерференция сводится к перераспределению светового потока, а не к изменению его величины.

Следует обратить внимание обучающихся, что при интерференции нет потери или увеличения энергии света, а происходит только перераспределение этой энергии в интерференционном поле в соответствии с законом сохранения энергии.

При проведении опытов интерференции без светофильтров наблюдается спектральное разложение монохроматической световой волны на составляющие. Интерференционные максимумы и минимумы для лучей разного цвета оказываются пространственно разделенными в зависимости от длины волны. В данном

случае следует познакомить обучающихся со спектральным разложением и выяснить, с какими физическими характеристиками световой волны связаны различия в цвете.

Данную тему необходимо завершить рассмотрением проявлений интерференции света в природе и технике (интерференционный способ проверки качества обработки поверхностей, просветление оптики и т.д.).

Исторический экскурс в становление учения о дифракции богат событиями и будет интересен для обучающихся. Поэтому изучение темы «Дифракция» целесообразно связать с проблемами, возникшими в истории науки по объяснению нарушений образования теней. В ходе изучения данного материала следует проводить аналогию с дифракцией механических волн. В этих целях необходимо актуализировать знания обучающихся о дифракции механических и электромагнитных волн.

Известно, что дифракция всегда сопровождается интерференционной картиной. Она является вторым признаком дифракции, объяснение которого связано с выяснением причины и условий дифракции света. Принцип Гюйгенса—Френеля формулируется как инструмент для решения задач дифракции: объяснение образования волновой поверхности, распределение интенсивности света в зависимости от вида препятствия и расстояния до источника света, определения интенсивности световой волны в любой точке однородной среды. Принцип Гюйгенса, на основе которого ранее выводились законы геометрической оптики, и принцип Гюйгенса — Френеля должны быть сформулированы как *утверждения об образовании волновой поверхности*. Именно в этом состоят их различия как инструментария для объяснения многих волновых явлений, и в частности дифракции:

- каждая точка, до которой доходит волна, является центром вторичных волн, огибающая которых дает положение волновой поверхности в следующий момент времени;
- каждая точка, до которой доходит волна, является центром вторичных когерентных волн, интерференция которых дает положение волновой поверхности в следующий момент времени.

Дифракционные эффекты есть всегда, однако почему они различны, например, для щели: в одном случае — изображение Щели с резко очерченными краями, в другом — есть дифракционная картина? Необходимо вспомнить основное условие, при выполнении которого возможно наблюдение дифракции волн. Обычно сравнивают размеры препятствия только с длиной волны, хотя существенным фактором является и расстояние от наблюдателя до препятствия  $L$ . Кроме того, следует обратить внимание на то, что если волна проходит через отверстие или огибает препятствие (ширина щели, размеры препятствия  $d$ ),

от которого наблюдатель удален на расстояние  $L$ , то дифракцию наблюдают не только при условии  $d \approx \lambda$ , но и при более общем условии  $d^2 \leq L\lambda$ . Этот случай достаточно распространен на практике, когда размеры препятствий, вызывающих дифракцию, значительно больше длины световой волны и для наблюдения дифракционной картины нужно расположить место наблюдения далеко от отверстия (преграды).

При  $d^2 > L\lambda$  дифракции нет. Свет подчиняется закону прямолинейного распространения.

Доказательство электромагнитной теории света посредством установления поперечного характера световых волн убедительно можно провести, рассматривая явление поляризации света. Опираясь на опыты с упругим шнуром, а затем с поляризацией электромагнитных волн, необходимо убедить обучающихся, что поляризация характерна только для поперечных волн. После чего следует продемонстрировать поляризацию света с помощью поляроидов (из набора по поляризации света). *Поляроид* — целлюлоидная пленка, в которую вплавлены одинаково ориентированные кристаллики герпатита (сернокислый йод — хинин) толщиной около 0,1 мм. Поэтому поляроид представляет собой кристаллическую структуру с узкими щелями. Далее необходимо обосновать поперечность световых волн, рассмотреть широкое применение поляризованного света на практике: для определения концентрации растворов оптически активных веществ (с помощью поляриметра можно провести предварительную диагностику сахарного диабета); мест упругих напряжений, возникающих в результате механических нагрузок (в технике применяется поляризационно-оптический метод для исследования деформаций и прочности твердых тел), при изучении быстро протекающих процессов и т.д.

Как правило, основой изучения *дисперсии* является опыт Ньютона по разложению света. Известно, что Ньютон не объяснил результата опыта, так как согласно его корпускулярной теории частицы света втягиваются в среду, из-за чего скорость увеличивается. Только волновая оптика дает объяснение дисперсии, которое будет рассмотрено далее.

Обычно на базовом уровне изучения физики формируется понятие о дисперсии при разложении света в призме, т.е. рассматривается пространственное разделение волн по их частотам из-за дисперсии. Такой подход часто приводит к отождествлению понятия «спектральное разложение» с понятием «дисперсия», а понятия «спектр» только с цветной картиной, возникающей при прохождении белого света через призму. *Дисперсией* называется явление, состоящее в том, что скорость распространения света в веществе является функцией частоты световых колебаний (дисперсия — явление, а не зависимость). Зависимость между скоростью света

в веществе и длиной волны (частотой) и между показателем преломления и длиной волны (частотой) следует показать на графиках. Мерой изменения скорости света при переходе света из одной среды в другую служит относительный показатель преломления этих сред, который является функцией частоты:  $n = f(\nu)$ .

Дисперсия отсутствует только в вакууме; в веществе она имеет место всегда, но разложение света в спектр наблюдается не во всех случаях. Этот факт необходимо показать на численных примерах.

Чтобы предупредить такие выражения, как «красный спектр», «синий спектр» (что свидетельствует о несформированности понятия «спектр»), в данном месте изучения темы нужно дать определение спектра. *Спектром* называется последовательное чередование цветов. Обучающимся известно об объективных и субъективных характеристиках звука. У света они также есть: объективными являются частота и амплитуда колебания, субъективными — цвет и яркость. Так можно предупредить путаницу в понятиях «свет» и «цвет». Здесь следует заметить, что в природе нет никаких красок, есть только излучения, которые различаются частотами колебаний. Цветность светового излучения является физиологическим свойством глаза. Происхождение цветов, окраска поверхностей тел связаны с отражением, рассеянием и поглощением света.

Одинаковые цвета тела могут иметь по совершенно разным причинам. Цвет тела белый: в прозрачном теле полностью проходят цветные лучи белого излучения без поглощения; в непрозрачном теле все цветные лучи белого излучения полностью отражаются от него. Цвет тела черный: как в прозрачном, так и непрозрачном теле все цветные лучи белого излучения полностью поглощаются. Цвет прозрачного тела определяется составом того света, который проходит сквозь это тело; цвет непрозрачного тела определяется смесью тех лучей, которые отражаются от этого тела.

Таблица 23. Экологические вопросы, связанные с волновой оптикой

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
Интерференция света	Визуальное определение загрязнений водоемов нефтепродуктами	Способствовать развитию умения предвидеть негативные последствия человеческой деятельности

Вопросы курса физики	Содержание экологических знаний, связанных с физическим материалом	Развитие ценностного отношения к экологическим проблемам
Дисперсия света	Характеристика действия компонентов волн видимого света на представителей живой природы. Возможности мобилизации сил организма человека за счет воздействия света определенной частоты	Подвести обучающихся к пониманию экологических условий жизни, научить их объяснять природные явления с научной точки зрения
Поляризация света	Использование свойств поляризованного света при определении концентрации загрязняющих веществ в атмосфере. Экологические условия существования насекомых, пчел	Расширить понятие об экологических условиях жизни. Подвести обучающихся к пониманию того, что изменение параметров среды может стать причиной гибели живых организмов
Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи	Использование инфракрасных лучей в нагревательных приборах. Применение инфракрасных газоанализаторов при фиксировании лесных пожаров. Воздействие ультрафиолетовых лучей на развитие жизни. Ультрафиолетовые лучи в борьбе с вредителями сельского хозяйства. Ультрафиолетовые загрязнения среды	Способствовать выработке умения защитить природу от разрушений и загрязнения. Формировать знания, необходимые для определения состояния окружающей среды и оценки изменений ее параметров. Формировать умение пропагандировать экологические знания

Итак, *условиями* наблюдения дисперсии света выступают: угол падения, отличный от нуля, большой относительный показатель преломления, субъективная восприимчивость разности цветов; *причиной* — зависимость диэлектрической проницаемости среды, абсолютного показателя преломления и скорости света в ней от частоты колебания светового вектора  $E$  в веществе.



Рекомендуется тему заканчивать рассмотрением экологических вопросов, связанных с волновой оптикой табл. 23 [17].

### Систематизация учебного материала

Повторение изученного материала целесообразно осуществить на основе данных табл. 24.

Таблица 24. Волновые явления

Явление	Определение	Теория, объясняющая явление	Проявления в природе. Использование в технике
Интерференция	Сложение когерентных световых волн, при котором возникает устойчивая во времени интерференционная картина максимумов и минимумов освещенности. Условия когерентности: $(\nu_1 = \nu_2, \delta = \varphi_1 - \varphi_2 = \text{const})$	Волновая теория Гюйгенса — Френеля. Электромагнитная теория Максвелла	Радужные цвета тонких пленок. Просветление оптики. Интерферометры. Метрология. Контроль качества полированных и шлифованных поверхностей
Дифракция	Огибание света препятствиями, отклонение от прямолинейного распространения. Условие наблюдения: $d \sim \sqrt{L\lambda}$ . В лабораторных условиях: $d \sim \lambda$	Волновая теория Гюйгенса — Френеля. Электромагнитная теория Максвелла	Дифракционная решетка как спектральный прибор. Голография
Дисперсия	Зависимость скорости света в веществе и показателя преломления от частоты световой волны	Электронная теория Лоренца	Радуга. Спектроскоп. Спектральный анализ

Явление	Определение	Теория, объясняющая явление	Проявления в природе. Использование в технике
Поляризация	Выделение из естественного света свободных колебаний с определенным направлением вектора $E$	Электромагнитная теория Максвелла. Теория анизотропных свойств кристаллов	Поляроиды. Поляриметры — определение концентрации сахара в крови, органических кислот в растворах

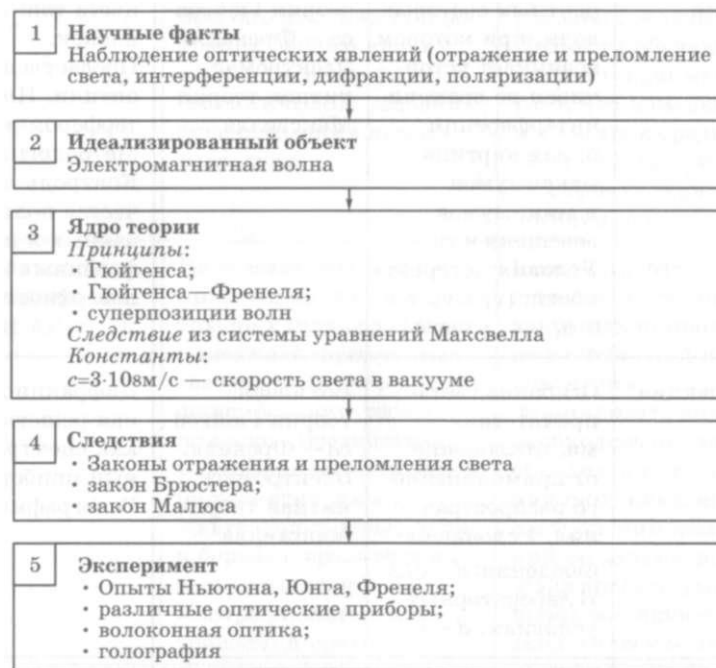


Рис. 11. Волновая оптика

Другой способ систематизации учебного материала может быть осуществлен на основе цикла естественно-научного познания: факты — модель — следствия — эксперимент, структуры физической теории (в случае затруднения воспользуйтесь рис. 11, СЛС).

**КВАНТОВАЯ ОПТИКА (гл. 20)****Уровни усвоения содержания учебного материала****1. Знание и понимание**

- Приведите примеры опытов, обосновывающих научные представления о квантовой природе света.
- Перечислите основные физические характеристики фотона.
- Опишите явление внешнего фотоэлектрического эффекта.
- Выпишите и сформулируйте квантовую гипотезу Планка, законы Столетова, уравнение Эйнштейна.
- Перечислите методы познания, которые использованы при изучении квантовой природы света.

**2. Применение знаний (базовый уровень)**

- Установите связи между основными физическими характеристиками фотона, величинами, входящими в формулы и законы, описывающие квантовую природу света.
- Исследуйте зависимость фототока от приложенного напряжения между катодом и анодом, подберите для этого соответствующие приборы и материалы.
- Объясните смысл понятия «работа выхода», а также физический смысл гипотезы Планка, уравнения Эйнштейна, корпускулярно-волнового дуализма природы света.
- Укажите практическое применение фотоэффекта.

**3. Применение знаний (повышенный уровень)**

- Объясните законы Столетова на основе квантовых представлений.

- Разработайте план, возможную систему действий и конструкцию экспериментального определения постоянной Планка.
- Перечислите приборы (установки), где применяется безынерционность фотоэффекта.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### Методические рекомендации

В конце XIX в. появились факты, которые невозможно было объяснить на основе электромагнитной теории Максвелла.

Рассмотрим некоторые из них:

а) *устойчивость атома*. Согласно теории Максвелла, движущиеся электроны вокруг ядра атомов должны непрерывно излучать энергию и двигаться по спирали к ядру; атом — неустойчивое образование, что противоречит действительности;

б) *«ультрафиолетовая катастрофа»*. По теории Максвелла, максимум электромагнитного излучения в спектре Солнца должен находиться в ультрафиолетовой части, а на самом деле он находится в видимой части;

в) *холодное свечение тел*. По теории Максвелла, видимое излучение тел возникает только при высоких температурах, и, следовательно, холодного свечения тел в природе вообще не должно быть. Но вопреки этому многие тела и живые организмы излучают холодный свет;

г) *линейчатый спектр излучения*. По теории Максвелла, с повышением температуры излучателя, например газа, должна изменяться длина волны излучения, на самом деле она остается постоянной и не зависит от изменения температуры, так как раскаленные газы дают постоянный линейчатый спектр излучения.

Таким образом, теория Максвелла не могла объяснить ни устойчивость атома, ни закон распределения энергии в спектрах излучения по длинам волн, ни холодное свечение, ни происхождение линейчатых спектров излучения. Выход из затруднительного положения был найден М.Планком, который выдвинул гипотезу о том, что излучение энергии атомами вещества происходит прерывисто, в виде отдельных порций, квантов. Планк установил, что энергия квантов пропорциональна частоте излучаемых электромагнитных волн, т. е.  $\varepsilon = h\nu$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.



Рис. 12. Модели света

А. Эйнштейн, развивая квантовую гипотезу, пришел к выводу, что прерывистым, дискретным, является не только излучение, но и поглощение «черного» тела, что характерно для электромагнитного излучения всех тел.

На примере изучения этой темы следует показать, что модельные гипотезы играют большую роль в процессе познания. Следует подчеркнуть, что никакая модель не может быть полностью адекватной изучаемому явлению. Модель лишь в большей или меньшей степени следует установленным фактам и их интерпретации. Эволюцию, преемственность и дополнительный характер физических моделей хорошо иллюстрирует развитие представлений о природе света (рис. 12).

Мотивацию познавательной деятельности обучающихся при изучении фотоэффекта можно повысить, если объяснить, что данное явление послужило основой для создания многочисленных фотоэлектронных приборов, используемых для автоматического регулирования технологических процессов, «озвучивания» кино, преобразования солнечной энергии в электрическую и т.д. Фотоэффект является физическим явлением, доказывающим структурность светового излучения, и служит основой для изучения полуклассической модели атома. В теме изучаются фундаментальные исторические опыты, идеи, новые понятия, законы. Рекомендуется изучение фотоэффекта как явления, работы выхода как физической величины, опыта Столетова как фундаментального эксперимента и уравнения Эйнштейна как закона с учетом обобщенных правил. Их усвоение предполагает последовательность логических умозаключений, которые должен уметь формулировать обучающийся.

Методика изучения фотоэффекта предусматривает несколько этапов [20]:

- знакомство учащихся с явлением фотоэффекта. Рассказ об истории его открытия (Г. Герц);

- поиск закономерностей явления фотоэффекта. Исследования А. Г. Столетова;
- рассмотрение основных закономерностей фотоэффекта. Показ, вскрытие Имеющихся трудностей — невозможность объяснить все законы фотоэффекта с известных уже обучающимся позиций (волной теории света);
- выдвижение гипотезы световых квантов. Рассказ о работе А.Эйнштейна. Уравнение фотоэффекта;
- объяснение всех закономерностей фотоэффекта с позиции квантовой Теории света;
- вакуумные и полупроводниковые фотоэлементы. Применение фотоэффекта в технике.

Раскроем некоторые из этих этапов более подробно.

Изучение *внешнего фотоэффекта* лучше всего начинать с постановки известного эксперимента: закрепленную на стержне электрометра очищенную и заряженную отрицательно цинковую пластинку освещают потоком ультрафиолетовых лучей; наблюдают разряд электрометра. Данная демонстрация позволяет проводить занятие методом эвристической беседы, в ходе которой обсуждают следующие вопросы: почему заряженная пластинка может сохранять заряд в течение длительного времени? Какими способами можно разрядить пластину? Как объяснить быстрый разряд отрицательно заряженной пластины при ее освещении светом дуги? Будет ли при освещении ультрафиолетовым светом так же разряжаться положительно заряженная цинковая пластинка? Наблюдается ли разряд медной пластины при тех же условиях опыта? Почему прекращается разряд отрицательно заряженной цинковой пластины, если свет от электрической дуги перекрыть стеклянной пластиной?

Объяснение фотоэффекта связано с формированием понятия *работа выхода*, почему нужно совершить работу по удалению электрона от атома? Почему эта работа должна быть строго определенной? Что характеризует работа выхода? Понятие «работа выхода» очень важное в физике. Его смысл, а также механизм вырывания электронов достаточно полно представлены в учебнике.

*Законы Столетова* предшествуют *уравнению Эйнштейна*, являющемуся основным законом фотоэффекта. Совместно они представляют собой два уровня теории фотоэффекта: описательный и объяснительный. В формулировке первого закона Столетова в качестве результата взаимодействия света с металлом выбирается *ток насыщения*. Важно при этом подчеркнуть, что имеет место пропорциональность числа вырываемых электронов в единицу времени световому потоку (а не равенство), так как часть падающих на металл фотонов отражается, а из поглощенных фотонов не все вырывают из металла свободные

электроны. Энергия части поглощенных фотонов превращается во внутреннюю энергию металла. Поэтому отношение числа вырванных из вещества электронов  $n_э$  к числу падающих на него фотонов  $n_ф$  значительно меньше единицы (для чистых металлов примерно в 1 000 раз).

Законы Столетова сформулированы на качественном уровне. Их понимание можно контролировать отношениями сравнения или графически между перечисленными физическими величинами в различной комбинации: ток, ток насыщения, напряжение, запирающее напряжение, интенсивность света, кинетическая энергия электронов, частота света, работа выхода. Взаимосвязь между ними дает большое число обучающих и контролирующих заданий, в том числе графических. Успешность выполнения таких заданий зависит не только от усвоенности законов физики, но и от сформированности общеучебных умений, в частности умений чтения и построения графиков. При анализе результатов опытов Столетова желательно научить обучающихся ориентироваться в численных значениях физических величин, характеризующих фотоэффект: все виды энергии в джоулях и электронвольтах ( $\epsilon \approx 10^{-18}$  Дж, от 1 до 5 эВ); скорости электронов ( $v_э \approx 10^6$  м/с); запирающее напряжение ( $U_з \approx 0,5 \dots 2$  В); фототок в цепи ( $I \approx 10^{-3}$  А); длина  $\lambda$  и частота  $\nu$  волн светового излучения видимого и ультрафиолетового диапазонов, вызывающих фотоэффект ( $\lambda = 100 \dots 600$  нм;  $\nu = (0,5 \dots 1,5) \cdot 10^{15}$  Гц). Эти знания используются в дальнейшем при оценке результатов задач, решаемых с помощью уравнения Эйнштейна.

При объяснении механизма фотоэффекта раскрывается квантовый характер явления. Одна из основных задач изучения закона фотоэффекта — объяснение того, что уравнение Эйнштейна является не только частным случаем закона сохранения энергии, но и развитием квантовой теории светового излучения. Именно в этом месте темы рассматривается дискретный характер света.

Энергия фотона  $h\nu$ , поглощенного при фотоэффекте, сообщается электрону, связанному с атомом. За счет этой избыточной энергии:

а) электрон отрывается от атома и совершает при этом работу, равную ионизации атома  $A_*$ ;

б) вылетает за пределы вещества и совершает работу, равную работе выхода  $A_{вых}$ ;

в) приобретает кинетическую энергию  $mv^2/2$

В металлах электроны являются свободными, их не нужно отрывать от атома, поэтому уравнение Эйнштейна для металлов  $h\nu = A_{вых} + mv^2/2$ . Уравнение Эйнштейна описывает идеальную модель фотоэффекта, которая описывает закон. Свойства модели:

- при фотоэффекте есть превращение энергии, которое не учитывается в законе. Кинетическая энергия электрона много меньше его энергии покоя, поэтому только часть энергии фотона превращается в кинетическую энергию электрона. Фотоэффект всегда сопровождается нагреванием материала;
- электрон приобретает скорость порядка  $10^6$  м/с, поэтому считается классической частицей, а не релятивистской. Даже в тех задачах, где электрон ускоряется до половины скорости света, релятивистские эффекты не учитываются при решении задачи;
- поглощение кванта, строго говоря, носит вероятностный характер, хотя всегда при описании взаимодействия квант — атом говорится о достоверном событии выбивания одного электрона.

В данном месте темы углубляется содержание понятий: энергия и импульс фотона, задерживающий потенциал и задерживающее напряжение, работа выхода электрона из металла и «красная граница» фотоэффекта. Здесь следует обратить внимание обучающихся на то, что каждый фотон взаимодействует не со всем веществом, на которое падает свет, и даже не с отдельным атомом, а с отдельным электроном атома.

После изучения фотоэффекта обобщают полученные обучающимися знания о фотоне и обсуждают корпускулярно-волновой дуализм его свойств. При подготовке по этой теме обучающиеся повторяют как уже пройденный до этого материал, так и материал об электромагнитных волнах раздела «Основы электродинамики». В ходе беседы преподаватель подводит их к следующим выводам ([19], с. 285):

- фотон — частица электромагнитного излучения (квант электромагнитного поля);
- фотон, будучи квантом электромагнитного поля, существует только в движении. Он либо движется со скоростью, равной скорости света в вакууме, либо не существует. Остановить, замедлить и ускорить фотон нельзя, как нельзя увеличить или уменьшить скорость света в вакууме;
- эти частицы сравнительно легко могут зарождаться (излучаться) и исчезать (поглощаться). Фотоны неделимы. Когда атом испускает или поглощает свет, то это испускание и поглощение происходит только целыми квантами. Поглощенный фотон прекращает свое самостоятельное существование, а его энергия превращается в какой-либо другой вид энергии;
- фотон обладает определенной энергией, массой и импульсом.

Энергия фотона  $\varepsilon = h\nu$ . По закону взаимосвязи массы и энергии энергия фотона связана с массой соотношением  $\varepsilon = mc^2$ , следо-



вательно, масса фотона равна  $m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$ . Масса фотона — мера его энергии. Эту массу нужно рассматривать как полевую массу, обусловленную тем, что электромагнитное поле обладает энергией. Так как фотон существует только в движении, то у него нет массы покоя. Масса покоя фотона равна нулю, и в этом принципиальное отличие фотона от частиц вещества.

Импульс фотона определяют по формуле  $p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

Импульс — векторная величина. Направление вектора импульса фотона совпадает с направлением распространения света. Наличие у фотона импульса подтверждается существованием светового давления.

Обучающиеся должны уяснить, что свет проявляет и волновые и корпускулярные свойства, т.е. обладает дуализмом свойств. Это находит свое выражение, в частности, в формулах, определяющих корпускулярные характеристики фотона (энергию, импульс, массу) через частоту:  $\varepsilon = h\nu$ ;  $p = \frac{h\nu}{c}$ ;  $m = \frac{h\nu}{c^2}$ .

В проявлении двойственности свойств света имеется определенная закономерность. Так как энергия отдельного фотона при малых частотах (например, у инфракрасного света) мала, для этого диапазона часто корпускулярные свойства проявляются слабо, а в большей степени проявляются волновые свойства излучения. Интерференцию, дифракцию, поляризацию такого излучения легко демонстрируют с помощью несложной аппаратуры, фотохимические же действия обнаружить труднее. При больших частотах (когда энергия отдельного фотона сравнительно велика) корпускулярные свойства света обнаружить легче. В видимом свете волновые и корпускулярные свойства проявляются примерно в равной степени. Отражение, преломление, давление света можно объяснить на основе как волновых, так и корпускулярных представлений.

При ответе на вопрос: почему в одних случаях проявляются волновые, а в других — корпускулярные свойства света, может быть дано такое разъяснение. Когда регистрируются усредненные результаты воздействия света на объект в течение сравнительно больших промежутков времени, дискретность светового потока стирается, и мы наблюдаем непрерывную волновую функцию (например, при наблюдении интерференционных картин). В данном случае уместно провести такую аналогию: в гидродинамике жидкость рассматривается как непрерывная среда (мы не замечаем, что она состоит из отдельных молекул). Если же происходит регистрация отдельных актов взаимодействия излучения с микрочастицами, например с отдельными электронами (фотоэффект), то здесь микрочастица взаимодействует

с отдельным фотоном, поэтому дискретная структура излучения проявляется достаточно четко. Примером аналогии может служить поведение броуновских частиц, которые перемещаются под действием отдельных молекул жидкости.

## ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА (гл. 21, 22)

### | Уровни усвоения содержания учебного материала

#### 1. Знание и понимание

- Назовите ученых, работы которых лежат в основе физики атома и атомного ядра.
- Приведите примеры опытов, обосновывающих научные представления о строении атома и ядра.
- Опишите физические явления: *внешний и внутренний фотоэффект, излучение и поглощение атомами энергии, естественная радиоактивность.*
- Сформулируйте постулаты Бора.
- Дайте определения физических понятий: *изотопы, период полураспада, нуклоны, дефект массы, энергия связи атомных ядер.*

#### 2. Применение знаний (базовый уровень)

- Объясните происхождение линейчатого спектра атома водорода по Бору.
- Изобразите схему опытов Резерфорда по рассеянию альфа-частиц атомами.
- Перечислите способы наблюдения и регистрации заряженных частиц, отличительные свойства ядерных сил.
- Сформулируйте закон радиоактивного распада, связь массы и энергии.
- Перечислите виды радиоактивного распада и их воздействие на живые организмы.
- Перечислите методы познания, которые были использованы в процессе изучения основных понятий.

#### 3. Применение знаний (повышенный уровень)

- Объясните принцип действия и использования лазера.
- Объясните физическую природу  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучений.
- Изобразите принципиальную схему устройства и работы ядерных реакторов и атомных электростанций.

- Покажите роль физики в создании и совершенствовании лазеров, ядерных реакторов; перечислите особенности экологических проблем, связанных с их работой.
- Выделите в тексте используемого учебника основные категории научной информации (описание явления или опыта, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### Методические рекомендации

Основными познавательными задачами данного раздела являются: ознакомление обучающихся со специфическими законами, действующими в области микромира, и завершение формирования представления о строении вещества, а также политехническое образование. При изучении оптики и квантовой физики у обучающихся необходимо формировать представления о диалектическом единстве корпускулярно-волновых свойств любых микрообъектов (фотонов, электронов и др.), причем в зависимости от условий взаимодействия более ярко проявляется та или иная сторона этого единства двух противоположных свойств данного микрообъекта.

Тема «Физика атома и атомного ядра» является основополагающей для изучения новых свойств и законов строения материи на субатомном уровне, продолжением квантовой теории электромагнитного излучения. На данном этапе изучения курса физики продолжается формирование вероятностных законов, показ роли моделей в теории, границ их применимости, дуализма — единства вещества и поля. Содержание данного материала имеет методологическое значение для демонстрации относительности знаний и получения новых, роли экспериментального метода для исследования микромира, единства вещества и полевой формы материи. Изучение темы имеет большое политехническое значение, так как в современной энергетике альтернативой углеводородному сырью является только ядерная. Поэтому необходимо акцентировать внимание обучающихся на изучении физических основ ядерной энергетике, преимуществ и недостатков, современного ее состояния, использования в промышленности радиоактивных изотопов.

Следует обратить внимание обучающихся на закономерности в *атомных спектрах*:

а) изолированные атомы в виде разреженных газов или паров металла испускают спектр, состоящий из отдельных спектральных линий, т.е. имеют линейчатый спектр;

б) линии в спектрах атомов расположены не беспорядочно, а объединяются в группы, или, как их принято называть, в се-

рии. Число линий в каждой серии имеет определенный предел, который называется границей серии;

в) каждой частоте (длине волны) соответствует спектральная линия.

Абстрактность, отсутствие наглядности, особые численные значения параметров микромира усложняют изучение темы. В настоящее время существует множество интерактивных моделей, которые помогают обучающимся овладеть содержанием темы [4], например, интерактивные модели ядерных реакций деления и синтеза, радиоактивных излучений, двухконтурного ядерного реактора. В мультимедийных программах есть также анимационные видеофильмы о принципах действия ядерного оружия, работе различных ионизационных счетчиков и другие, которые следует использовать.

В самом начале темы «Физика атома» необходимо актуализировать имеющиеся знания о явлении *радиоактивности*, основных видах радиоактивных излучений, об альфа-частицах, что повысит уровень понимания обучающимися *опыта Резерфорда*. Следует сообщить, что скорость альфа-частицы при радиоактивном распаде порядка  $2 \cdot 10^7$  м/с, исходя из чего можно вычислить ее кинетическую энергию: она оказывается равной 8 МэВ, что в  $10^8$  раз больше энергии теплового движения молекул. Поэтому данные частицы представляют собой эффективные «снаряды» для изучения структуры вещества. При указанной выше скорости и энергии альфа-частиц большинство из них незначительно отклонялось от прямолинейной траектории при взаимодействии с атомами золотой фольги. Данный опытный факт служит основой для теоретических предсказаний о структуре вещества. В данном случае целесообразно прикинуть: сколько атомов встречает на своем пути альфа-частица? Если толщина золотой фольги составляла всего 1 мкм, а диаметр атома  $10^{-10}$  м, то число атомов, которое встречает на своем пути альфа-частица, составит  $10^4$ . Так как атомы плотно упакованы, то из факта, что многие альфа-частицы пролетают тысячи атомов, не взаимодействуя с ними, следует вывод — атом не является сплошным.

Но в результате опыта также было установлено, что на  $90^\circ$  отклонялась  $1/20\,000$  частиц, на  $150^\circ$  и более —  $1/70\,000$ . Вывод: альфа-частицы с такой большой скоростью и энергией не могут отклоняться электронами. Они должны отклоняться кулоновскими силами от частиц, заряженных с ними одноименно. Поразительным в опыте было то, что такая тончайшая пленка отталкивала альфа-частицы. По образному выражению самого Резерфорда, все равно что расстреливать пушечным снарядом бумагу, которая отталкивает некоторые снаряды.

Согласно стандарту обучения физике для учреждений начального и среднего образования рассматриваются известные

трудности модели атома Резерфорда, ее кризис, что позволяет перейти к изучению полуклассической модели атома Бора. *Модель атома Бора* называется полуклассической, так как для расчета радиуса вращения электрона используется второй закон Ньютона классической механики

$$\frac{mv^2}{R} = k \frac{e^2}{R^2} \quad (1)$$

и энергии, рассчитанные для классической частицы, и в то же время применяется квантовая теория излучения атома (квантовый характер энергии излучения, импульса, момента импульса). Задачей Бора было объяснить не только устойчивость атома, но и линейчатый спектр излучения атома.

Первая трудность атома Резерфорда (стабильность состояний) снимается *первым постулатом Бора* (постулат стационарных состояний). Энергия атома квантована, т.е. может принимать ряд дискретных значений. Наименьшим значением энергии атом обладает тогда, когда электрон находится на ближайшей к ядру орбите. Чем больше радиус орбиты, тем больше энергия соответствующего стационарного состояния. В стационарном состоянии атом энергии не излучает.

Согласно *второму постулату Бора* при переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается один фотон, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:

$$h\nu = E_m - E_n.$$

Расчет энергии атома невозможен без условия квантования орбит

$$mvr = \frac{nh}{2\pi}.$$

Как следует из формулы

$$E_n = -\frac{me^4}{8h^2\varepsilon_0^2} \frac{1}{n^2},$$

энергия атома отрицательна и может принимать лишь определенные значения, обратно пропорциональные квадрату квантового числа:

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}.$$

Энергия атома в основном состоянии  $E_0 = -13,6$  эВ. Возбужденные состояния — состояния с  $n > 1$ . Чем дальше электрон от ядра, тем больше его энергия, тем выше энергетический уровень. При  $n$ , равном бесконечности, энергия атома равна нулю.

электрон свободен. Минимальная энергия, необходимая для перевода электрона в свободное состояние, называется *энергией ионизации*. Для предупреждения ошибок в изображении орбит и энергетических уровней атома надо представлять параллельно рисунки орбит и энергетических уровней.

Необходимо обратить внимание обучающихся на ограниченность модели атома Бора. Поскольку электрон обладает волновыми свойствами, понятия траектории для него не существует. Существует лишь вероятность нахождения его вблизи ядра. Как известно, модель описывает только водородоподобные атомы.

Целесообразно объяснить, почему линейчатые спектры разных газов различны. Хотя теория Бора не позволяет рассчитать энергетические уровни различных атомов, объяснить это можно, рассмотрев водородоподобные атомы — ионизированный атом гелия и дважды ионизированный атом лития. Они устроены подобно атому водорода и отличаются от него зарядом ядра. Соответственно, энергия каждого энергетического уровня иона гелия будет в 4 ( $2^2$ ) раза, а дважды ионизированного иона лития — в 9 раз больше энергии уровня водорода. Если энергетические уровни разных газов неодинаковы, то частоты даваемых ими излучений различны, хотя вполне определены и дискретны. Поэтому линейчатый спектр атомов каждого вещества, находящегося в газообразном состоянии, имеет свой характерный набор частот [20, с. 297]. Данное объяснение является основой для понимания сущности спектрального анализа.

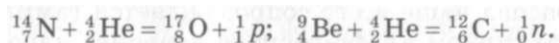
Если газ освещать светом, то его атомы могут поглотить только те фотоны, энергия которых  $h\nu$  равна разности значений энергий его энергетических уровней. Значит, газ поглощает свет только тех частот, которые сам испускает.

В классической физике одни явления описываются как движения частиц, другие — как распространение волны. Микрочастицы обладают дуализмом свойств: в одних явлениях (фотоэффект, тепловое излучение) они ведут себя как частицы, а в других (интерференция, дифракция) — как волна. В классической физике величины, описывающие процессы, изменяются непрерывно. Квантовая механика вскрыла, что заряд, энергия микрочастиц (и некоторые другие их характеристики) могут принимать лишь ряд дискретных значений. В классической механике начальное состояние тела задают указанием его координат и импульса, а законы Ньютона позволяют точно предсказать местоположение и импульс частицы в любой момент времени. В квантовой механике состояние микрочастицы описывается полной вероятностью, а ее законы позволяют определять не местонахождение частицы в пространстве, а лишь вероятность нахождения ее в определенной области пространства. Это является

следствием волновых свойств микрочастиц. В квантовой механике не имеет смысла понятие «траектория частицы». Вместе с тем следует подчеркнуть, что такие фундаментальные законы, как законы сохранения энергии, импульса, заряда, справедливы и в квантовой физике.

Интерес к изучению темы «Физика атомного ядра» у обучающихся можно активизировать объяснением значения внутриядерной энергии для человечества и сведениями об истории открытия этой энергии: работы А.Беккереля, супругов Кюри, Э. Резерфорда, Д.И. Менделеева, И.В. Курчатова и других ученых, а также необходимостью знаний закономерностей радиоактивного распада в повседневной жизни (биологическая защита). Излагая суть внутриядерных процессов, следует отметить, что ядерные превращения, процессы взаимодействия нуклонов в ядре составляют особую форму движения материи — ядерную. При этом ядерное взаимодействие осуществляется посредством ядерного поля, которое по своей природе отлично от гравитационного и электромагнитного. Отличие это состоит в том, что ядерное поле квантовано, причем его кванты имеют массу покоя, не равную нулю.

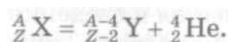
Теория радиоактивного распада может быть осмысленно изучена только после темы о строении ядра. После этого можно объяснить существование *стабильного* и *радиоактивного* ядра, причины альфа- и бета-распада, получение возбужденного атома, что ведет к гамма-излучению. Открытие протона (Э. Резерфорд, 1919) и нейтрона (Дж. Чедвик, 1932) записывается на основе законов сохранения зарядового и массового числа, которые известны из темы «Радиоактивные превращения атомных ядер» основной школы:



Строение ядра связано с изучением его состава и параметров: размеров, плотности, сравнения с параметрами атома. Ядерные силы изучаются на основе их свойств: *короткодействующие*, проявляются только в пределах размеров ядра, являются силами притяжения, не зависят от знака нуклона. Целесообразно дать объяснение механизму *сильного взаимодействия*: протон излучает элементарную частицу пи-плюс-мезон и превращается в нейтрон:  $p \rightarrow \pi^+ + n$ . Выброшенный пи-плюс-мезон движется со скоростью, близкой к скорости света, и спустя  $10^{-23}$  с захватывается нейтроном, который при этом превращается в протон:  $n + \pi^+ \rightarrow p$ . Через  $10^{-23}$  с процесс происходит в обратном направлении, и так бесконечно. Аналогично процесс обмена между нуклонами в ядре происходит посредством пи-минус-мезонов.

Необходимо рассмотреть условие стабильности ядра — кулоновские силы отталкивания протонов должны быть равными ядерным силам притяжения нуклонов. При дисбалансе этих

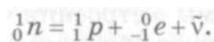
сил образуется избыточная энергия, от которой ядро освобождается и переходит в состояние с меньшей энергией. При этом происходит *радиоактивный распад*. Радиоактивный распад — самопроизвольное превращение исходного (материнского) ядра в новые (дочерние) ядра. *Альфа-распад* — самопроизвольное превращение радиоактивного ядра в новое с испусканием альфа-частиц. Он происходит при избытке протонов в ядре:



*Бета-распад* — самопроизвольное превращение радиоактивного ядра в новое с испусканием электрона и антинейтрино. Он происходит при избытке нейтронов в ядре:



Следует показать, как образуется электрон. Обучающиеся знакомы с тем, что атом испускает электрон при ионизации, фотоэффекте, термоэмиссии и других явлениях, и поэтому бета-распад их не удивляет, как очередное явление эмиссии электронов атомом. Объяснение заключается в том, чтобы показать образование электрона в ядре:



Согласно экспериментам, электрон не полностью уносит энергию, значит, образуется еще одна частица, на долю которой приходится часть энергии. Эту частицу назвали антинейтрино, у нее нет заряда и масса равна массе нейтрино. Она составляет 1/20 000 часть массы электрона. Отсюда бета-распад и описывается указанной выше формулой.

Альфа-распад чаще всего сопровождается гамма-распадом. При радиоактивном альфа-распаде дочернее ядро переходит в возбужденное состояние, из которого оно выходит при испускании гамма-кванта и перехода на более низкий энергетический уровень. *Гамма-распад* — электромагнитное излучение, возникающее при переходе ядра из возбужденного состояния в более низкие энергетические уровни. Знания закрепляются задачами на различные типы радиоактивного распада.

Теория радиоактивного распада завершается изучением закона радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Закономерности радиоактивного распада:

- а) неизменность радиоактивного распада в течение длительного времени;
- б) выделение большого количества энергии;
- в) активность радиоактивного распада характеризуется числом атомов, распавшихся в единицу времени.



Определим физический смысл *постоянной радиоактивного распада*. Выберем время  $T$ , после которого остается половина ядер  $N_0/2$ . Оно называется *периодом полураспада*. Чем больше период полураспада, тем больше среднее время жизни ядра, значит, *постоянная радиоактивного распада*  $\lambda = 1/\tau$  — *величина, обратная среднему времени жизни ядра*. Среднее время жизни — вероятностное событие. Для небольшого числа атома оно неприменимо и имеет смысл так же, как и постоянная распада, только для большого количества атомов. Постоянная  $\lambda$  показывает вероятность их распада за 1 с. Чем больше среднее время жизни, тем меньше вероятность распада ядер.

Важными вопросами данной темы является расчет: энергии связи

$$\Delta E = c^2 [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}];$$

удельной энергии связи  $\frac{\Delta E}{A}$ ;

энергетического выхода при ядерных реакциях

$$Q = c^2 (\sum m_1 - \sum m_2)$$

где  $\sum m_1$ ,  $\sum m_2$  — суммы масс покоя частиц до и после реакции.

В зависимости от знака  $Q$  делают вывод о поглощении или выделении теплоты при ядерной реакции. Удобнее энергию представлять в мегаэлектронвольтах (МэВ), учитывая коэффициент  $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}$ , обычно энергия выхода составляет около 10 МэВ (а.е.м. — атомные единицы массы).

Взаимодействие частицы, поглощаемой ядром, обычно рассматривается как неупругий удар. Возможен случай, когда частица распадается на другие, здесь также происходит неупругое взаимодействие, при котором кроме используемых ранее законов сохранения заряда, массы суммарного числа нуклонов действуют законы сохранения полной энергии и импульса.

Под *полной энергией* понимается сумма энергии покоя частицы и ее кинетической энергии. *Закон сохранения полной энергии* записывается в следующем виде:

$$\sum m_{01}c^2 + \sum E_{\text{к1}} = \sum m_{02}c^2 + \sum E_{\text{к2}},$$

где слева стоят величины до реакции, справа — после реакции.

Отметим еще одну тонкость. Частицы могут быть как классическими, так и релятивистскими. Расчет энергии и импульса в последнем случае осуществляется с учетом релятивистских эффектов. В задачах обычно имеется указание на это. При расчетах следует брать из таблиц массы ядер или их изотопов в атомных

Таблица 25. Межпредметные связи темы «Физика атома и атомного ядра»

Тема курса физики	Понятия и законы, используемые при изучении темы	Учебные дисциплины и структурные элементы знаний, при изучении которых возникают межпредметные связи		Задачи межпредметного содержания
		предшествующие	сопутствующие	
Физика атома и атомного ядра	Дефект массы ядра, энергия связи ядра, энергетический выход ядерной реакции. Постулаты Бора. Закон радиоактивного распада	<b>Химия</b> Молекулы и атомы, обозначение химических элементов, относительная атомная масса. Химические реакции. Закон Авогадро. Периодический закон и Периодическая система элементов Менделеева. Состав атомных ядер. Изотопы	<b>Биология</b> Мутационное воздействие радиоактивных излучений. Биосфера в период научно-технического прогресса и здоровье человека. <b>Человекознание</b> Человек и физические загрязнители среды. Мутагены и канцерогены	В чем сущность метода меченых атомов, используемого в медицине? Почему для защиты от нейтронного излучения используется графит, вода, полиэтилен, а не свинец? Период полураспада изотопа кобальт-60 5,3 года, а изотопа уран-238 — 4,5 млрд лет. Какой из этих элементов применяется при лечении злокачественных опухолей и почему? Ядро атома хлора (относительная атомная масса 35) содержит 18 нейтронов. Каков порядковый номер хлора в Периодической системе элементов?

единицах массы, так как в Периодической системе элементов Менделеева дается среднее массовое число.

Для понимания физических основ ядерной энергетики обучающиеся должны усвоить следующее [20, с. 310]:

- реакция деления тяжелых ядер энергетически выгодна, так как удельная энергия связи для них примерно на 1 МэВ/нуклон меньше удельной энергии связи элементов, находящихся в середине Периодической системы. Поэтому наблюдается самопроизвольное (спонтанное) деление ядер урана, но вероятность его мала;
- при попадании в ядро урана теплового нейтрона процесс деления становится более вероятным;
- механизм деления ядра может быть понят на основе капельной модели ядра;
- при делении ядер урана выделяется колоссальная энергия: 1 МэВ на каждый нуклон, или 200 МэВ на каждый атом урана, а при полном делении ядер 1 г урана  $2,3 \cdot 10^8$  кВт·ч ( $8,3 \cdot 10^{10}$  Дж);
- при делении ядер урана, кроме ядер-осколков, образуются два-три нейтрона. Это приводит к тому, что реакция становится цепной;
- увеличение массы урана (или другого ядерного горючего) до размеров критической массы приводит к взрыву;
- труднее осуществить управляемую цепную реакцию. Для этого требуется замедлить нейтроны, появляющиеся в процессе реакции; обеспечить защиту обслуживающего персонала от мощного излучения, источником которого является урановая среда; разработать систему охлаждения; научиться управлять ходом реакции и решить ряд других важных проблем.

На данном этапе обучения задача состоит в том, чтобы повторить и обобщить сведения о свойствах уже изученных элементарных частиц. Обобщение можно провести по трем их свойствам: массе, электрическому заряду и среднему времени жизни, так как другие характеристики элементарных частиц, например спин, магнитный момент, в данном курсе не изучаются.

Для повышения эффективности изучения данной темы следует указать понятия, законы физики и учебные дисциплины с их структурными элементами знаний, при изучении которых возникают межпредметные связи, табл. 25 [15].

## **Систематизация учебного материала**

Основное содержание темы «Физика атома и атомного ядра» раздела «Элементы квантовой физики» целесообразно систематизировать в виде, представленном на рис. 13, т.е. предложить

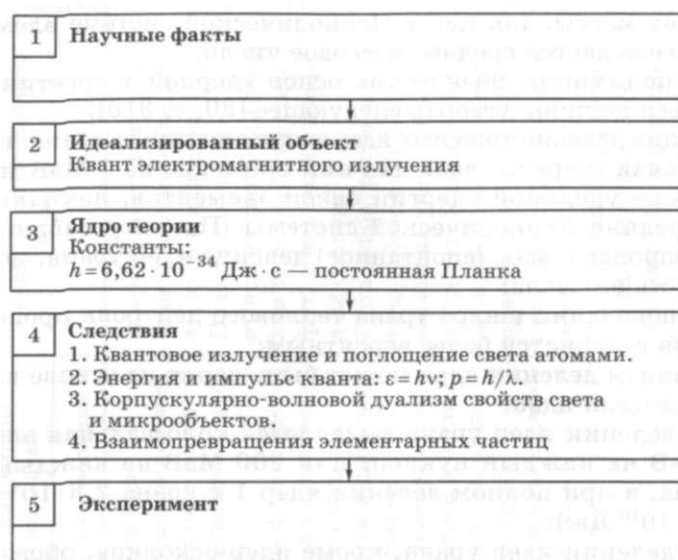


Рис. 13. СЛС «Элементы квантовой физики»

обучающимся самостоятельно составить СЛС, где указать учебные дисциплины и структурные элементы знаний, полученных при изучении данной темы и в процессе освоения которых возникают межпредметные связи.

# РАЗДЕЛ VII ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

## СТРОЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ВСЕЛЕННОЙ. ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД. ГИПОТЕЗА ПРОИСХОЖДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (гл. 23, 24)

### Уровни усвоения содержания учебного материала

#### 1. Знание и понимание

- Перечислите фамилии ученых, работы которых легли в основу космологии.
- В чем заключается сущность эффекта Доплера и явлений, на которые опирается космология.
- Охарактеризуйте реликтовое излучение.
- Запишите закон Хаббла и формулу, позволяющую рассчитать скорость удаления галактик.
- Опишите протон-протонный цикл термоядерных реакций, а также состав и строение Солнечной системы.
- Перечислите существующие модели эволюции Вселенной.

#### 2. Применение знаний (базовый уровень)

- Расскажите о составе и размерах Галактики.
- Сформулируйте условия возникновения и протекания термоядерных реакций.
- Установите связи между величинами, входящими в формулу для скорости удаления от нас галактик и закон Хаббла.
- Сформулируйте гипотезы Канта и Лапласа по проблеме образования и развития Солнечной системы.
- Объясните модель рождения Вселенной на основе гравитационного сжатия.

#### 3. Применение знаний (повышенный уровень)

- Дайте характеристику основных периодов эволюции Вселенной.

- Выделите недостатки гипотез Канта и Лапласа по проблеме образования и развития Солнечной системы.
- Раскройте суть гипотез Мультона, Чемберлена, Рессела и Шмидта о происхождении Солнечной системы.
- Дайте характеристику моделям: расширяющейся Вселенной и горячей Вселенной.
- Укажите границы (область) применимости законов.
- Выделите в тексте учебника основные категории научной информации (описание явления, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, моделирование объектов и процессов; формулировка теоретического вывода и его интерпретация, экспериментальная проверка гипотезы или теоретического предсказания).

### Методические рекомендации

**Возможные сценарии эволюции Вселенной. Модель расширяющейся Вселенной.** В 1922—1924 гг. на основе представлений об однородной, изотропной, бесконечной Вселенной и уравнений общей теории относительности (ОТО) российским математиком А.А.Фридманом были получены результаты, свидетельствующие о том, что Вселенная должна быть нестационарной, т.е. с течением времени либо неограниченно расширяться, либо сжиматься, либо пульсировать. Как конкретно должны двигаться галактики, будет ли происходить расширение или сжатие? Для ответа на этот вопрос необходимо знать, какова скорость галактик в некоторый момент времени.

Значения скоростей галактик теория дать не в состоянии. Их можно получить только из наблюдений. Для определения скоростей далеких галактик можно использовать *эффект Доплера*. Суть этого эффекта заключается в том, что при удалении или приближении источника электромагнитных (или звуковых) волн к приемнику увеличивается или уменьшается длина волны принимаемого излучения — происходит смещение спектральных линий в красную или фиолетовую область спектра. Смещение  $z$  определяется из соотношения

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = v/c$$

где  $\lambda_0$  — длина волны спектральной линии, наблюдаемой в лаборатории;  $v$  — скорость объекта;  $c$  — скорость света.

В 1920—1922 гг. американский астрофизик В.М.Слайфер исследовал спектральные линии поглощения около 40 галактик. Им было установлено, что у большинства галактик имеется сравнительно небольшое смещение спектральных линий поглощения химических элементов в красную область. Итак, согласно Слайферу, галактики от нас удаляются.

Американским астрономом Э. Хабблом были определены расстояния до ближайших к нам галактик. Измерение расстояний до галактик и результаты исследований Слайфера позволили в 1929 г. Э.Хаббллу открыть закон (*закон Хаббла*), согласно которому скорости удаления галактик возрастают по мере увеличения расстояний от нашей Галактики: чем дальше галактика, тем больше скорость ее удаления:

$$v = HR$$

где  $H$  — постоянная Хаббла.

Согласно современным данным  $H \approx 75$  (км/с)/Мпк (известно, что в астрономии расстояние часто измеряют в парсеках;  $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. лет} = 3,09 \cdot 10^{16} \text{ м}$ ).

Закон Хаббла позволяет оценить время, которое прошло с момента начала расширения Вселенной:  $t = R/v$ , оно оказалось равным 14 млрд лет. Соотношение между скоростью  $v$ , с которой галактика удаляется от нас, и расстоянием  $R$  до нее не зависит от направления, в котором мы наблюдаем галактики, т. е. эффект разбегания галактик носит *изотропный характер*, что указывает на изотропный характер расширения Вселенной. Из интерпретации закона Хаббла следует, что в некоторый момент времени в прошлом все расстояния обращались в нуль. Отдельные галактики, звезды и другие небесные тела не могли существовать как изолированные объекты. Вся материя находилась в состоянии непрерывно распределенного однородного вещества. Это был момент начала расширения Вселенной. Позже, в ходе расширения, вещество распалось на отдельные части, что привело к образованию отдельных небесных тел.

В настоящий момент времени *Вселенная расширяется*. Этот процесс из-за сил гравитации протекает с замедлением. С расширением плотность падает, замедление уменьшается.

Для *будущего Вселенной* имеется две возможности: 1) плотность вещества во Вселенной достаточно мала и замедление мало. В этом случае расширение будет протекать неограниченно долго; 2) плотность вещества во Вселенной достаточно высока, велико замедление расширения.

Последнее предположение основывается на учете дополнительной, невидимой, скрытой массы, физическая природа которой пока однозначно не выяснена. Существуют предположения о барионных объектах в отдаленных сверхскоплениях галактик, ненаблюдаемых *«черных дырах»*, наличии массы покоя у нейтрино. От величины скрытой массы зависит сценарий дальнейшего развития Вселенной. В этом случае расширение прекращается и сменяется сжатием (подобно тому, как камень, брошенный вверх, возвращается на Землю).

Существует критическое значение плотности вещества  $\rho_{кр} \approx 10^{-26}$  кг/м<sup>3</sup>, отделяющее один случай от другого. Если наблюдения покажут, что плотность вещества в настоящий момент  $\rho > \rho_{кр}$ , то расширение должно смениться сжатием, при  $\rho < \rho_{кр}$  расширение будет длиться бесконечно долго.

На основе существующего уровня наших знаний о распределении вещества во Вселенной принято считать, что реальная средняя плотность чуть меньше критической. Если это представление верно, то реализуется первая возможность — расширение будет протекать неограниченно долго.

**Модель горячей Вселенной.** Для определения того, как происходило расширение Вселенной с момента начала расширения, какие процессы при этом протекали, необходимо провести расчеты при разных предположениях о расширении, о состоянии и составе вещества во Вселенной и сравнить результаты расчетов с наблюдениями.

Согласно модели расширяющейся Вселенной на основе закона Хаббла можно примерно установить момент начала расширения Вселенной. Расчеты показывают, что это произошло *около 14 млрд лет тому назад*. Предполагается, что взрыв произошел в точечном объеме, который и был всей Вселенной. Ничего больше не существовало.

К настоящему времени наибольшее распространение получила модель горячей Вселенной, которую предложил американский физик Дж. Гамов. Согласно модели Гамова, современная наблюдаемая Вселенная представляет собой результат катастрофически быстрого разлета материи, находившейся до того в сверхплотном состоянии. Плотность вещества спустя  $10^{43}$  с после начала расширения (*Большого взрыва*) примерно в  $10^{108}$  раз превышала ядерную плотность. Температура вещества превышала десятки тысяч миллиардов градусов. Разлет вещества происходил со скоростями порядка 250 км/с.

В космологии выделяют несколько периодов эволюции Вселенной после Большого взрыва, каждый из них характеризуется определенными процессами, табл. 26 [13, с.20].

Существование симметричного пространства в планковскую эпоху привело к неотделимости от него времени. Нарушение в последующем симметрии создало прецедент необратимости событий, приводя к разделению прошлого, настоящего и будущего. Поэтому выражение «до Большого взрыва» не имеет смысла. Академик А.Д.Сахаров предположил взаимосвязь между возникновением потока времени и асимметрией в природе вещества и антивещества. В первоначальный период, который длился всего нескольких секунд, вещество Вселенной находилось в состоянии фотонной плазмы: на один миллиард фотонов (квантов света) приходилась только одна частица. Фотоны рождаются и уни-



Таблица 26. Основные периоды эволюции Вселенной

Период	Возраст Вселенной	Температура, К	Примечание
Планковская эпоха	$0 - 10^{-43}$ с	$10^{32}$	Все взаимодействия неразличимы
Эпоха Великого объединения	$(10^{-43} - 10^{-36})$ с	$10^{32} - 10^{28}$	Гравитационное взаимодействие становится независимым от остальных
Инфляционная фаза	$(10^{-36} - 10^{-34})$ с	$10^{28} - 10^{27}$	Сильное взаимодействие отделяется от электро-слабого
Электрослабая эпоха	$(10^{-34} - 10^{-10})$ с	$10^{27} - 10^{15}$	Электромагнитное и слабое взаимодействия становятся независимыми
Эра кварков	$(10^{-10} - 10^{-6})$ с	$10^{15} - 10^{13}$	
Адронная эра	$(10^{-6} - 10^{-4})$ с	$10^{13} - 10^{12}$	
Лептонная эра	$(10^{-4} - 1)$ с	$10^{12} - 10^{10}$	
Эра нуклеосинтеза	$(1 - 200)$ с	$10^{10} - 10^9$	
Фотонная эра	200 с — 350 тыс. лет	$10^9 - 3 \cdot 10^3$	
Атомная эра	350 тыс. — 100 млн лет	$3 \cdot 10^3 - 200$	
Образование звезд	100 млн — 500 млн лет	200 — 3	
Образование галактик	500 млн — 5 млрд лет		
Образование Солнечной системы	10 млрд — 11 млрд лет		
Возникновение жизни на Земле	10,7 млрд лет		

что жаются при взаимодействии элементарных частиц (*фотон рождается при взаимодействии частицы и античастицы*). Частицы при этом исчезают (*аннигилируют*) и появляются фотоны. Сами тяжелые частицы, X-бозоны и их античастицы рождаются из особого состояния материи — *физического вакуума*, в котором они имеются в скрытом, «виртуальном», состоянии. Тяжелые частицы и античастицы аннигилируют, и в результате появляются протоны, нейтроны, электроны, нейтрино и их античастицы.

Как видно из табл. 26, в первые 5 мин после Большого взрыва практически произошли все события, определившие те свойства Вселенной, которые она имеет в настоящее время. Решающую роль здесь играли протоны и нейтроны, которые, взаимодействуя с электронами, позитронами, нейтрино и антинейтрино, превращаются друг в друга. Температура в результате расширения уменьшается. При этом протонов становится больше, так как их масса меньше массы нейтронов и их образование энергетически выгоднее. Процесс создания избытка протонов прекращается из-за понижения температуры до того, как все нейтроны будут превращены в протоны. При падении температуры до 1 млрд К начинают образовываться простейшие ядра. Заметим, что в первые мгновения после Большого взрыва фотонов было много (на один протон приходился 1 млрд фотонов). С течением времени такое соотношение остается постоянным, но энергия фотонов становится меньше. Это объясняется эффектом Доплера, так как частота фотонов, а значит, и их энергия уменьшаются. Итак, *нейтроны захватываются протонами, и происходит образование дейтерия*. Реакция продолжается, и образуются ядра гелия, которые состоят из двух протонов и двух нейтронов. Одновременно образуется немного лития и изотопа гелия-3. К концу пятой минуты после Большого взрыва расширяющееся вещество состояло из ядер водорода — 70 % и ядер гелия — 30 %.

Температура становится меньше 1 млрд К, Вселенная перестает быть горячей, наступает следующий этап расширения Вселенной, который длится примерно 300 тыс. лет. Вещество Вселенной в это время представляет собой *плазму*, которая является непрозрачной для фотонов. При температуре порядка 4 тыс. К начинается образование нейтральных атомов, появляются нейтральный водород и гелий. Вещество становится прозрачным для фотонов. Нейтральное вещество начинает собираться в некоторые образования — «комки». С этого момента происходит образование галактик.

При абсолютно изотропном и однородном распределении вещества во Вселенной формирование астрономических структур (галактик, звезд, планет) было бы невозможно. Структуры могут возникать лишь в результате уплотнения вещества или развития начальных флуктуации его плотности. Следствием

концепции первоначально горячей Вселенной является вывод о том, что от ранней эпохи расширения должно сохраниться остаточное излучение в радиодиапазоне (реликтовое излучение). *Реликтовое излучение* было открыто в 1965 г. американскими радиоинженерами А. Пензиасом и Р. Вильсоном. Обнаружение реликтового излучения сделало достоверным тот факт, что *Вселенная действительно эволюционирует.*

Через 350 тыс. лет с момента Большого взрыва при  $T = 3$  тыс. К размер Вселенной был в 1 000 раз меньше нынешнего, а плотность газа была в  $10^9$  раз больше нынешней ( $10^{27}$  кг/м<sup>3</sup>), т.е.  $\rho = 10^{18}$  кг/м<sup>3</sup>. Тогда  $m = 10^6 M_{\odot}$ . Подобная масса характерна для небольших галактик. Галактики образуются из огромного газового облака, размеры которого незначительно превышают размер будущей галактики. При сжатии облака образуются первые звезды. Эволюция галактики зависит от начальной скорости вращения газового облака и его массы.

**Эволюция звезд.** Следует обратить внимание обучающихся на то, что все небесные тела можно разбить на две группы:

- 1) испускающие энергию — *звезды;*
- 2) неиспускающие энергию — *планеты, кометы, метеориты, космическая пыль.*

Звезды — это гигантские раскаленные самосветящиеся шары. По своим характеристикам звезды очень многообразны. В числе первых характеристик звезды следует указать на ее *звездную величину*. Уже во II в. до н.э. александрийский астроном Гиппарх составил каталог более чем из 1 000 звезд. Все звезды Гиппарх разделил на шесть групп по их блеску. Звезды с наибольшим блеском он назвал звездами *первой величины*, звезды с несколько меньшим блеском — звездами *второй величины* и т.д. Чем слабее светится звезда, тем больше число, обозначающее ее звездную величину. Гиппарх считал, что звезды находятся от нас на одинаковом расстоянии и различие в их блеске зависит от размеров звезд. Но на самом деле *звезды расположены от нас на различных расстояниях.*

Звезды различаются и по своему *цвету* — от голубого до красного. Установлено, что цвет *звезды соответствует температуре ее поверхности*. Самые горячие звезды имеют голубоватый цвет, температура их поверхности составляет десятки тысяч градусов. У белых звезд температура около 10 тыс. К, у желтых (в том числе у Солнца) — 6 тыс. К, у красных — 3 тыс. К. В направлении к центру звезд температура растет и в центре достигает 1 млн К. В центре звезды генерируется энергия, излучаемая звездами в результате протекания термоядерных реакций. Главную роль здесь играют превращения водорода в гелий в результате реакций протон-протонного и углеродно-азотного циклов.

При изучении термоядерного синтеза мотивацию познавательной деятельности обучающихся можно повысить, если объяснить современную ситуацию с огромным потреблением энергии, потребности которой в дальнейшем будут только возрастать. Запасы энергетического сырья на Земле не безграничны (каменный уголь, нефть, уран и др.), поэтому возникает задача обеспечения человечества альтернативными видами энергии для нормальной жизнедеятельности. Сырьем же для термоядерных реакций являются изотопы самого распространенного элемента на Земле — водорода, который входит в состав воды. С решением проблемы управляемой термоядерной реакции человечество будет избавлено от угрозы нехватки энергии.

Как светимости звезд, так и их размеры весьма разнообразны. Существуют *звезды-гиганты* и сверхгиганты, радиусы которых в тысячи и десятки тысяч раз превосходят радиус Солнца. Радиусы *звезд-карликов* в десятки и сотни тысяч раз меньше солнечного, а у нейтронных звезд — в сотни тысяч раз меньше. Меньший разброс наблюдается в массах звезд.

Образование планетных систем. Одна из сложностей, которые возникают в раскрытии содержания данного вопроса, состоит в том, что, кроме Солнечной системы, нам пока неизвестно достоверно ни одной. Возможно, лишь новые методы измерения положений звезд принесут определенные результаты. Любая гипотеза о происхождении планетной системы обязана дать объяснение всем основным ее закономерностям, касающимся больших планет.

Основные закономерности состоят в следующем:

1) все планеты (от греч. *planetos* — блуждающая) движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам;

2) орбиты планет лежат почти в одной плоскости, близкой к плоскости солнечного экватора, образуя с ней угол около  $7^\circ$ . Исключением является орбита Плутона\*, наклоненная к плоскости орбиты Земли под углом  $17^\circ$ ;

3) все планеты обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении, совпадающем с направлением вращения Солнца вокруг своей оси;

4) все планеты вращаются вокруг своих осей в направлении своего движения, за исключением Урана и Венеры;

5) близкие спутники движутся вокруг планет в сторону их осевого вращения, а некоторые из далеких — в обратном направлении;

6) планеты в отличие от звезд не излучают свет, а светят отраженным солнечным светом;

\* На XXVI Ассамблее Международного астрономического союза (2006) принято решение называть Плутон карликовой планетой.

7) суммарная масса всех планет значительно меньше солнечной массы: 99,87 % всей массы системы сосредоточено в Солнце и лишь 0,13 % — в планетах;

8) момент количества движения системы на 98 % сосредоточен в планетах, и только 2 % принадлежат Солнцу;

9) расстояние между соседними планетами возрастает по мере удаления от Солнца;

10) планеты по своим физическим характеристикам образуют две резко различающиеся группы: планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).

В настоящее время рождение Солнечной системы рассматривается как заключительный этап процесса развития протосолнечной туманности, который продолжался миллиарды лет.

**Состав и строение Солнечной системы.** Солнечная система представляет собой группу небесных тел, объединенных в единую систему благодаря гравитационному взаимодействию, с центральным телом — Солнцем. Кроме Солнца в состав Солнечной системы входят восемь больших планет, спутники планет, астероиды — малые планеты, кометы, метеориты и др.

*Солнце представляет собой плазменный шар* диаметром 1,392 млн км, что в 109 раз превосходит диаметр Земли. Средняя плотность Солнца  $1,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Температура на поверхности Солнца порядка 6 тыс. К, а в его центральной области достигает 15 млн К. Масса Солнца в 333 тыс. раз больше массы Земли. Наблюдения за поверхностью Солнца показывают, что оно вращается вокруг своей оси и полный оборот делает за 25,4 земных суток. Среднее расстояние от Земли до Солнца 149,6 млн км (1 а. е. (астрономическая единица)). Солнце вместе с Землей и всей Солнечной системой движется в мировом пространстве в направлении к созвездию Лиры со скоростью 20 км/с.

Подробно проблема образования и развития Солнечной системы была рассмотрена в работах И.Канта «Общая естественная история и теория неба» (1755) и П.Лапласа «Изложение системы мира» (1796). Согласно гипотезе Канта, вначале мир находился в самом примитивном состоянии; все было равномерно заполнено неподвижными и твердыми частицами. Частицы первичного хаоса неподвижны, но уже в первые мгновения под действием сил тяготения у него появляется стремление к формированию. Более массивные частицы притягивают менее массивные, вследствие чего образуются отдельные сгустки материи. За счет столкновения частиц происходит постепенное образование звездных и планетных систем. Недостатком гипотезы Канта можно считать то, что введенные им силы отталкивания (взаимное отталкивание молекул при их соударениях) не могли породить круговое движение. Для появления такого кругового движения

в первоначальной туманности уже должно было существовать вращение.

В работе «Изложение системы мира» П.Лаплас перечисляет следующие пять основных особенностей Солнечной системы, которые должна объяснить теория:

- планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении и приблизительно в одной плоскости;
- спутники движутся вокруг своих планет в том же направлении, что и планеты вокруг Солнца;
- вращение всех планет и Солнца вокруг своих осей происходит в одну и ту же сторону, и плоскости их экваторов имеют слабый наклон к плоскостям их орбит;
- эксцентриситеты орбит планет и спутников очень малы;
- орбиты комет, наоборот, имеют большие эксцентриситеты и любые углы наклона к плоскости эклиптики.

Согласно гипотезе Лапласа, раньше на месте Солнечной системы была сильно разогретая туманность, которая медленно вращалась вокруг оси, проходящей через ее центр. Вследствие охлаждения туманность сжималась, а ее угловая скорость вращения увеличивалась. Центробежная сила, действующая на частицы, имела наибольшее значение в экваториальной плоскости. Когда центробежная сила превышала силу тяготения, вещество отрывалось от туманности, продолжая вращаться в том же направлении и образуя кольца вещества. Затем каждое из колец распадалось, образуя сгустки вещества, из которых впоследствии сформировались планеты.

Гипотеза Лапласа позволила объяснить ряд закономерностей в Солнечной системе, но имела и целый ряд принципиальных недостатков, которые не позволили ей войти в ряд допустимых гипотез. Так, еще при жизни Лапласа было установлено, что Венера вращается в обратную сторону, спутник Марса — Фобос делает один оборот вокруг планеты втрое быстрее, чем сама планета вокруг своей оси, Уран вращается в обратную сторону, «лежа на боку» и др. Но самое главное состояло в том, что гипотеза Лапласа не могла объяснить распределение момента импульса в Солнечной системе, т.е. ответить на вопрос: «Почему планеты, масса которых около 0,15 % массы Солнца, имеют 98 % момента импульса?» — или другими словами: «Почему Солнце вращается слишком медленно?»

Позднее были предложены новые гипотезы такими учеными, как Ф.Р.Мультон, Т.К.Чемберлин, Х.Джеффрис, Г.Н.Рессел. В отличие от гипотез Канта и Лапласа эти гипотезы носили катастрофический характер. Сами гипотезы Канта и Лапласа принадлежат к числу *небулярных гипотез*, т.е. исходят из создания естественной, постепенно развертывающейся во времени и в пространстве картины образования Солнечной системы.

К числу современных небулярных гипотез происхождения Солнечной системы принадлежит гипотеза советского математика, геофизика и астронома О. Ю. Шмидта (1891 — 1956), согласно которой образование планет Солнечной системы происходит из холодного газопылевого облака, окружающего Солнце. В настоящее время разрабатываются небулярные гипотезы происхождения планетной системы с учетом влияния магнитных полей (это делалось еще в 1946 г. шведскими астрономами Х. Альфвенем и С. А. Аррениусом), конвективно-турбулентных движений вещества протопланетного облака и др.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Основные вопросы для организации различных форм текущего и обобщающего контроля

#### Механика

##### Кинематика

- понятие материальной точки;
- путь и перемещение;
- относительность движения;
- скорость равномерного движения;
- определение пути и скорости при равномерном движении (в том числе и по графикам);
- определение скорости и ускорения при равноускоренном движении (в том числе и по графикам);
- равноускоренное движение, уравнение для перемещения при прямолинейном равноускоренном движении;
- свободное падение, ускорение свободного падения;
- характер движения тел, брошенных под углом к горизонту;
- движение по окружности с постоянной скоростью, частота, период обращения, центростремительное ускорение.

##### Динамика

- первый закон Ньютона; инерциальная система отсчета;
- второй закон Ньютона (ускорение вызывается равнодействующей всех сил и всегда сонаправлено с ней);
- третий закон Ньютона (рассматриваемые силы приложены к разным телам);
- закон всемирного тяготения;
- понятие веса тела и условия невесомости тел;
- закон Гука;
- формула для силы трения скольжения, зависимость силы трения от силы реакции опоры и коэффициента трения и независимость от площади опоры.

##### Законы сохранения в механике

- работа силы;
- мощность;
- импульс тела и системы тел;
- закон сохранения импульса;
- кинетическая энергия;



- потенциальная энергия;
- закон сохранения механической энергии.

### Молекулярная физика

- атомистическая теория строения вещества; модели строения газов, жидкостей и твердых тел;
- основные положения МКТ;
- экспериментальные доказательства атомистической теории (свойства диффузии и броуновского движения);
- силы взаимодействия молекул;
- тепловое движение молекул;
- основное уравнение кинетической теории газов. Связь между давлением и средней кинетической энергией теплового движения молекул идеального газа;
- температура как мера средней кинетической энергии теплового движения частиц;
- абсолютная температура;
- уравнение состояния идеального газа;
- изопроцессы (изохорный, изобарный, изотермический, уравнения для изопроцессов, графики);
- адиабатный процесс;
- плавление и кристаллизация (формула, расчет, график);
- Удельная теплота плавления;
- насыщенный и ненасыщенный пар;
- влажность воздуха;
- испарение и конденсация (формула, расчет, график);
- зависимость температуры кипения от давления.

### Термодинамика

- тепловое равновесие;
- теплопередача (направление), виды теплопередачи (конвекция, теплопроводность, излучение);
- количество теплоты при нагревании (охлаждении) тела (формула, расчет, график);
- внутренняя энергия идеального одноатомного газа;
- первый закон термодинамики;
- применение первого закона термодинамики к изопроцессам;
- работа в термодинамике;
- принцип действия тепловых двигателей;
- КПД тепловой машины.

### Электродинамика

#### Электростатика

- взаимодействие заряженных тел, электризация (при соприкосновении, под действием света);

- закон сохранения заряда;
- закон Кулона (формула, направление действия сил);
- принцип суперпозиции (умение применять его как для кулоновских сил, так и для напряженностей электростатических полей);
- напряженность, силовые линии электростатического поля и их свойства;
- напряженность точечного заряда;
- явление электростатической индукции (поле внутри проводника отсутствует, заряд проводника сосредоточен на поверхности, силовые линии перпендикулярны поверхности, поверхность проводника эквипотенциальна);
- явление поляризации диэлектриков;
- взаимосвязь разности потенциалов и напряжения с работой электрического поля по перемещению заряда;
- движение заряженной частицы в однородном электростатическом поле;
- понятие емкости;
- емкость плоского конденсатора (зависимость от площади пластин, расстояния между ними и диэлектрической проницаемости среды).

#### **Законы постоянного тока**

- определение силы тока;
- действие электрического тока;
- закон Ома для участка цепи;
- зависимость сопротивления проводника от длины, площади поперечного сечения и удельного сопротивления материала;
- закономерности последовательного и параллельного соединения проводников;
- работа и мощность электрического тока (применение формул для работы тока и мощности для последовательного и параллельного соединения проводников);
- закон Джоуля — Ленца;
- понятия ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока;
- закон Ома для полной цепи;
- применение полученных знаний для расчета электрических цепей;
- электрический ток в металлах, электролитах, газах и полупроводниках (собственная и примесная проводимость).

#### **Магнитное поле. Электромагнитная индукция**

- взаимодействие полюсов магнита;
- взаимодействие токов;
- магнитный поток;
- вектор магнитной индукции, свойства силовых линий магнитного поля;

- применение правила буравчика для определения направления магнитной индукции поля прямого тока, проволочного витка;
- сила Ампера;
- правило левой руки для определения направления силы, действующей на проводник с током;
- сила Лоренца;
- движение заряженных частиц в магнитном поле;
- правило левой руки для определения направления силы, действующей на заряженную частицу в магнитном поле;
- явление электромагнитной индукции;
- правило Ленца;
- закон электромагнитной индукции;
- явление самоиндукции;
- индуктивность;
- энергия электрического тока.

## **Колебания и волны**

### **Механические колебания и волны**

- гармонические колебания, уравнение гармонических колебаний;
- амплитуда, частота, период и фаза колебаний;
- математический маятник, период и частота колебаний математического маятника;
- пружинный маятник, период и частота колебаний пружинного маятника;
- вынужденные колебания, резонанс;
- поперечные и продольные волны;
- длина волны, скорость волны, период колебаний частиц в волне;
- звуковые волны, громкость и высота звука.

### **Электромагнитные колебания и волны**

- колебательный контур;
- превращение энергии в колебательном контуре;
- формула Томсона;
- уравнения для гармонических колебаний, силы тока и заряда в колебательном контуре (формулы, графики);
- фаза, период, частота, амплитуда колебаний;
- условия получения переменного тока;
- действующие значения силы тока и напряжения;
- закон Ома для участка цепи, содержащего активное сопротивление, конденсатор или катушку индуктивности;
- емкостное, индуктивное сопротивления;
- условие наблюдения резонанса в электрическом колебательном контуре;

- устройство и принцип действия трансформатора, коэффициент трансформации;
- скорость электромагнитных волн в вакууме;
- основные свойства электромагнитных волн и их применение.

### **Волновая оптика**

- прямолинейное распространение света;
- образование тени и полутени;
- закон отражения света;
- построение изображения в плоском зеркале;
- закон отражения света;
- показатель преломления среды;
- закон преломления среды;
- полное внутреннее отражение света;
- линза (основные лучи, построение изображений);
- оптическая сила линзы;
- формула линзы;
- глаз, недостатки зрения;
- оптические приборы;
- закон преломления света (через скорости света);
- абсолютные и относительные показатели преломления среды;
- дисперсия света;
- явление интерференции, условия наблюдения интерференционных максимумов и минимумов;
- примеры интерференции (тонкие пленки, кольца Ньютона);
- дифракция света;
- дифракционная решетка;
- поляризация света, поперечность световых волн.

### **Квантовая физика**

#### **Квантовая оптика**

- гипотеза Планка;
- формулы для энергии и импульса фотонов;
- условия возникновения фотоэффекта;
- закон Столетова;
- уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

#### **Физика атома**

- обобщенная формула Бальмера;
- серии Лаймана, Бальмера, Пашена и т.д.;
- строение атома (словесное описание, символическая запись);
- постулаты Бора;
- символическая запись энергетических переходов;
- схемы энергетических уровней атома.

### **Физика атомного ядра**

- **виды радиоактивных излучений (название, основные свойства; например, проникающая способность или отклонение в магнитном и электростатическом полях);**
- **строение ядра атома, понятие «изотопы» (словесное описание состава ядер и символическая запись или схематичные рисунки);**
- **закон сохранения заряда и массового числа в ядерных реакциях.**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анофрикова С.В. Система действий при формировании физических понятий // Физика в школе. — 1983. — № 5. — С. 43 — 46.
2. Васильев Л.И. Модульная организация обучения физике в школе: метод, пособие. — Уфа: БИРО, 2004. — 57 с.
3. Даутова К.В. Избранные лекции по теории и методике обучения физике в средней школе: учеб. пособие. — Уфа: Изд-во БГПУ, 2006. — 112 с.
4. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник — М.: Издательский центр «Академия», 2010.
5. Дмитриева В.Ф. Курс физики: учеб. пособие. — М.: Высшая школа, 2005. — 614 с.
6. Зиятдинов Ш.Г. Экологическое образование учащихся в процессе обучения физике: учеб. пособие / под ред. проф., д-ра пед. наук Н.С.Пурьшевой. — Москва; Бирск, 2005. — 210 с.
7. Зорина Л.Я. Дидактические основы формирования системности знаний старшеклассников. — М.: Педагогика, 1978. — 128 с.
8. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: учебник для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2003. — 416 с.
9. Кларин М.В. Педагогическая технология в учебном процессе: анализ зарубежного опыта. — М.: Знание, 1989. — 77 с.
10. Межпредметные связи курса физики в средней школе / [Ю.И.Дик и др.]; под ред. Ю.И.Дика, И.К.Турышева. — М.: Просвещение, 1987. — 191 с.
11. Методика преподавания физики в средней школе. Частные вопросы: учеб. пособие / [С.В. Анофрикова и др.], под ред. С.Е.Каменецкого, Л.А.Ивановой. — М.: Просвещение, 1987. — 336 с.
12. Модульная технология образовательного процесса в вузе (на примере физики): учеб.-метод. пособие / [Асадуллин Р.М. и др.] — М., МГУТУ, 2005. — 91 с.
13. Москвин О.В. Системный подход при формировании у учащихся физических понятий: учеб. пособие. — М.: Изд-во МОПИ им. Н.К.Крупской, 1987. — 91 с.
14. Планирование учебного процесса по физике: учеб.-метод. пособие / [Г. И. Ряболов и др.] — М.: Высшая школа, 1991. — 430 с.
15. Разумовский В.Г. Научный метод познания и государственный стандарт физического образования // Физика в школе. — 1995. — № 6. — С.20.

16. Решение задач по физике. Психолого-методический аспект / под ред. Н. Н. Тулькибаевой, М. А. Драпкина. — Челябинск: Изд-во ГПИ «Факел», ЧВВАИУ и Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 1995.— 120 с.
17. *Самойленко П.И.* Повышение эффективности обучения физике: учеб.-метод. пособие. — М.: Высшая школа, 1993. — 192 с.
18. *Сущенко С.С.* Применение структурно-логических схем / С.С.Сущенко, Л. С. Недбаевская // Физика в школе. — 1988. — № 4.— С. 65 — 67.
19. Теория и методика обучения физике в школе: Общие вопросы / [С. Е. Каменецкий и др.]. — М.: Издательский центр «Академия», 2000.— 368 с.
20. Теория и методика обучения физике в школе: Частные вопросы / [С.Е.Каменецкий и др.]. — М.: Издательский центр «Академия», 2000.— 384 с.
21. *Усова А.В.* Формирование учебных умений и навыков учащихся на уроках физики. М.: Просвещение, 1988. — 122 с.
22. Физика в таблицах. 7—11 кл.: справочное пособие / авт.-сост. В.А.Орлов. — М.: Дрофа, 2004. — 64 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	5
<b>Раздел I. Механика</b>	
Кинематика (гл. 1).....	10
Законы механики Ньютона (гл. 2).....	20
Законы сохранения в механике (гл. 3).....	29
<b>Раздел II. Основы молекулярной физики и термодинамики</b>	
Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ (гл. 4).....	38
Основы термодинамики. Свойства паров, жидкостей и твердых тел (гл. 5 – 8).....	50
<b>Раздел III. Основы электродинамики</b>	
Электрическое поле (гл. 9).....	66
Законы постоянного тока. Электрический ток в полупроводни- ках (гл. 10, 11).....	78
Магнитное поле. Электромагнитная индукция (гл. 12, 13).....	88
<b>Раздел IV. Колебания и волны</b>	
Механические колебания. Упругие волны (гл. 14, 15).....	104
Электромагнитные колебания и волны (гл. 16, 17).....	109
<b>Раздел V. Оптика</b>	
Природа света. Волновые свойства света (гл. 18, 19).....	122
<b>Раздел VI. Элементы квантовой физики</b>	
Квантовая оптика (гл. 20).....	133
Физика атома и атомного ядра (гл. 21, 22).....	140
<b>Раздел VII. Эволюция Вселенной</b>	
Строение и развитие Вселенной. Эволюция звезд. Гипотеза про- исхождения Солнечной системы (гл. 23, 24).....	151



Приложение. Основные вопросы для организации различных форм текущего и обобщающего контроля.....	162
Список литературы.....	168

*Учебное издание*

Дмитриева Валентина Феофановна  
Васильев Леонид Иванович

Физика

для профессий и специальностей технического профиля

Методические рекомендации

Учебное пособие

**Редакторы** *Т.Ф.Мельникова, Л. В. Честная*  
**Технический редактор** *О.Н.Крайнева*  
**Компьютерная верстка:** *Д. В. Федотов*  
**Корректоры** *Е.В.Кудряшова, А.Б.Глазкова*

Изд. № 101113837. Подписано в печать 16.06.2010. Формат 60 x 90/16.  
Гарнитура «Newton». Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,0.  
Тираж 3 000 экз. Заказ № 30626.

Издательский центр «Академия», [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 266.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.  
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-0029.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.60.953.Д.007831.07.09  
от 06.07.2009.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством  
электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».  
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. [www.sarpk.ru](http://www.sarpk.ru)

# ФИЗИКА

ДЛЯ ПРОФЕССИЙ И СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Методические  
рекомендации

ISBN 978-5-7695-6906-7



9 785769 569067

Издательский центр «Академия»

[www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)