

В. М. Кротов

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
СОДЕРЖАНИЯ ШКОЛЬНОГО
КУРСА ФИЗИКИ**

Могилев
МГУ имени А. А. Кулешова
2014

Электронный архив библиотеки МГУ имени А. А. Кулешова

Электронный аналог печатного издания:

В. М. Кротов

Научные основы содержания школьного курса физики
Могилев : МГУ имени А. А. Кулешова, 2014. – 124 с. : ил.

ISBN 978-985-480-954-0

Данное учебное издание включает научные основы определения содержания обучения физике в средней общеобразовательной школе. Приведенная в нем теоретическая информация может быть использована при проведении анализа физических знаний по различным разделам и темам, рекомендуется студентам при изучении учебного курса «Методика преподавания физики».

Рекомендуется также учителям физики средних общеобразовательных учреждений при моделировании учебного процесса.

УДК 372.853(075.8)
ББК 74.265.1я73

Кротов, В. М. Научные основы содержания школьного курса физики [Электронный ресурс] : пособие / В. М. Кротов. – Электрон. данные. – Могилев : МГУ имени А. А. Кулешова, 2014. – 1 электрон. опт. диск (DVD-R); 12 см. – Сист. требования: Pentium II 300, 64 Mb RAM, свободное место на диске 16 Mb, Windows 98 и выше, Adobe Acrobat Reader, DVD-Rom, мышь. – Загл. с экрана. – 3 экз.

212022, г. Могилев
ул. Космонавтов, 1
тел.: 8-0222-28-31-51
e-mail: alexpzn@mail.ru
<http://www.msu.mogilev.by>

ISBN 978-985-480-995-3
(электронное издание)

© Кротов В. М., 2014
© МГУ имени А. А. Кулешова, 2014
© МГУ имени А. А. Кулешова,
электронный аналог, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Важными особенностями современной средней общеобразовательной школы республики Беларусь являются:

- ☑ замена субъект-объектных отношений преподавателя (учителя) и учащихся на субъект-субъектные;
- ☑ ориентация процесса обучения на освоение учащимися способов познавательной деятельности;
- ☑ предоставление учащимся более свободного выбора индивидуальной образовательной стратегии;
- ☑ увеличение количества и видов источников информации для учащихся;
- ☑ усиление ответственности преподавателя (учителя) за создание необходимых образовательных условий, обеспечивающих развитие познавательных способностей учащихся;
- ☑ конкретизация требований к учебным достижениям учащихся.

Для реализации перечисленных и других особенностей современной средней общеобразовательной школы от преподавателя требуется умение проводить анализ, дидактическую обработку научных знаний и конструировать содержание образования на разных уровнях обучения учащихся. Поэтому будущие преподаватели физики изучают учебный курс «Методика преподавания физики» или «Теория и методика обучения физике», *цель которого состоит в:*

- ☑ формировании у студентов убеждения в том, что курс физики средней школы *является* частью общественного опыта, обеспечивающей развитие и воспитание учащихся, формирование у них научной физической картины мира;
- ☑ развитию методического мышления будущих преподавателей физики.

В результате изучения тем «*Научные основы построения курса физики в средних общеобразовательных учреждениях*». «*Физика как учебный предмет*» и «*Структура и содержание курса физики в общеобразовательных учреждениях*» этого курса студент должен:

знать:

– методы научно-методологического анализа физических процессов, явлений, понятий, теорий и физической картины мира;

– содержание и структуру курса физики в общеобразовательных учреждениях, современных программ, учебных пособий и др.;

– требования к минимуму содержания и уровню подготовки учащихся по физике;

– методы поиска, анализа и дидактической адаптации научной информации по физике в соответствии с выбранным уровнем изучения физики;

уметь:

– конструировать систему познавательных задач, адекватную уровню изучения физики;

– применять методы научно-методологического и методического анализа содержания и структуры учебной литературы по физике;

– осуществлять поиск и дидактическую адаптацию научной информации применительно к учебному процессу по физике.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОБУЧЕНИЯ

Обучение в дидактике рассматривается как составная часть образовательного процесса, в котором учащиеся при непосредственном взаимодействии с учителем усваивают общественный опыт, являющийся содержанием обучения.

Структура содержания образования отражает не только состав социального опыта (культуры в широком ее понимании), но и существенные стороны личности учащихся (обученность, обучаемость, познавательные интересы, психологические и физиологические особенности).

Науки о природе, обществе, человеке, технике и технологиях, а также математика, языки, литература и искусство рассматриваются как составляющие культуры и инвариантные компоненты содержания образования. С учетом структуры объектов изучения действительности в системе “Человек – Природа – Социум” выделяют такие образовательные области, как *язык и литература, математика, естествознание, обществознание, физическая культура, искусство и технологии.*

Составляющими образовательной области являются учебные курсы (предметы). Физика включена в образовательную область “Естествознание”. Ведущими компонентами содержания изучаемого курса (предмета) являются предметные научные знания и способы познавательной деятельности.

1.1 УРОВНИ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОГО КУРСА (ПРЕДМЕТА)

В отечественной и российской дидактике рассматриваются три основных уровня изучения учебных предметов: *базовый, повышенный и углубленный.*

Исходя из структуры ведущих компонентов содержания изучаемого курса или предмета (предметные научные знания и способы деятельности), в нем выделяют *ядро* и *оболочку*. *Стабильное ядро* – общеобразовательный минимум содержания обучения, составляющий единую систему общеобразовательной подготовки в структуре содержания учебного курса. Оно отражает ведущие идеи конкретной научной области и изучается во всех типах общеобразовательных учреждений. Состав ядра определяется исходя как из ведущих идей учебного курса, так и совокупности конкретных норм – дидактических принципов, критериев и методических идей.

Оболочка (периферия) – взаимосвязанный с ядром вариативный компонент учебного курса (предмета), изучение которого обеспечивает усвоение учащимися знаний, формирование у них различных умений и способов деятельности, оперативно реагирующий на изменения в содержании обучения. Периферия (оболочка ядра) изучается на повышенном и углубленном уровнях учебного курса.

Содержание *периферии* включает расширение и углубление содержания общеобразовательного минимума с целью освоения соответствующей специальности при продолжении образования на последующих ступенях обучения.

Базовый уровень изучения учебного предмета – это минимально необходимый объем содержания в структуре общего среднего образования, обязательное усвоение которого принимается в качестве нормы образованности личности, обеспечивающей равенство прав и возможностей для продолжения и получения образования на последующих ступенях обучения и уровнях образования. В содержании учебных курсов *базовый уровень* фиксируется, как правило, в виде научно обоснованного стабильного ядра.

В содержании учебного курса *повышенный уровень* фиксируется в виде научно обоснованного стабильного ядра (инвариантная часть или компонент) и базирующейся на нем изменяемой, более подвижной *периферии* (оболочка ядра, вариативная часть, или компонент) с элементами содержания обучения повышенной сложности. Содержание обучения повышенной сложности предусматривает расширение и углубление содержания общеобразовательного минимума (в основном для отработки способов деятельности, формирования опыта творческой деятельности) в рамках целей общего среднего образования с учетом целей профильной дифференциации.

Углубленный уровень изучения учебного курса ориентирован на:

- более полное (по содержанию) изучение явлений, понятий, законов и теорий по сравнению с повышенным уровнем;
- ориентацию содержания и процесса обучения на целенаправленное формирование специфических структур умственной деятельности, характеризующих творчество, исследовательскую и экспериментальную деятельность;
- обеспечение условий для выбора личностью способов и форм усвоения содержания обучения с учетом развития его индивидуальных качеств.



Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимают под ядром содержания обучения?
2. Что понимают под оболочкой (периферией) содержания обучения?
3. Какие уровни изучения учебного предмета выделяют?
4. Как определяют базовый уровень изучения учебного предмета?
4. Как определяют повышенный уровень изучения учебного предмета?
5. Как определяют углубленный уровень изучения учебного предмета?

1.2 ДИДАКТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОТБОРА СОДЕРЖАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Предмет изучения любой школьной дисциплины существенно отличается от предмета соответствующей науки, поскольку включает лишь основы отрасли знания. Он характеризуется, во-первых, учебным объектом, т.е. предметом соответствующей науки, а во-вторых, особенностями изучения этой области действительности, предопределяемыми целями общего образования.

При отборе содержания обучения целесообразно руководствоваться следующими дидактическими принципами:

1. *Достаточно полное раскрытие потенциалов физической науки*

Значение физики в школьном образовании определяется той ролью, которую играет физическая наука в жизни современного общества, в развитии культуры человека, формировании социально значимых ориентаций, обеспечивающих гармонизацию отношений человека с окружающим миром.

Говоря о роли физики в современном мире, говорят о трех ее потенциалах: *научно-познавательном, техническом и гуманитарном.*

Физика позволяет человеку познавать окружающий мир. В процессе развития физики при поиске “первоначала вещей” и “первопричины явлений” были сформированы вначале механическая, затем электромагнитная, и, наконец, современная квантово-полевая физические картины мира.

Важными вехами развития современной физической картины мира являются теория относительности (специальная и общая) и квантовая теория. Применение квантовой теории позволяет понять строение и свойства кристаллов, молекул, атомов, атомных ядер, взаимопревращений элементарных частиц.

Физика исследует строение материи и простейшие формы ее движения и взаимодействия. Это определяет ее ведущую роль в системе естественных наук. На стыке физики и других естественных наук возникли новые научные дисциплины: *химическая физика, астрофизика, биофизика, агрофизика, петрофизика.*

Электронное строение атомов и молекул, физическую природу химических связей, кинетику химических реакций исследует *химическая физика.*

Астрофизика изучает многообразие физических явлений во Вселенной. В отдельные разделы астрофизики выделены физика Солнца, физика планет, физика межзвездной среды и туманностей, физика звезд и космология.

Физические и физико-химические явления в живых организмах, влияние различных физических факторов на живые организмы рассматривает

биофизика. В настоящее время из биофизики выделились самостоятельные направления – биоэнергетика, фотобиология, радиобиология.

Геофизика исследует внутреннее строение Земли, физические процессы, происходящие в ней. Различают физику твердой Земли, физику моря, и физику атмосферы.

Физические процессы в почве и растениях изучает *агрофизика*. *Петрофизика* исследует связь физических свойств горных пород с их структурой и историей формирования. Количественные отношения между силой и характером раздражителя и интенсивностью раздражения рассматривает *психофизика*.

Физика является научной основой технического прогресса. Это достаточно отчетливо проявилось при развитии техники и технологий в предыдущие столетия: тепловых двигателей, электротехнических и радиотехнических устройств (телеграф, электрические осветители, электродвигатель, электрогенератор, телефон, радио).

В XX веке благодаря развитию квантовой теории, возникновению атомной физики и физики твердого тела, быстрое развитие получила электроника (электронная лампа, электронно-лучевая трубка, транзистор, телевидение, ЭВМ).

Фундаментальные исследования в области ядерной физики позволили создать ядерную энергетику.

Создание лазерной техники стало возможным в связи с успехами в исследовании взаимодействия оптического излучения с веществом. Лазерный луч выполняет различные технологические операции (сваривает, режет, пробивает отверстия и т. д.), используется в качестве хирургического скальпеля, выполняет точнейшие измерения, контролирует степень загрязнения атмосферы, передает на расстояния информацию, управляет химическими процессами и ядерными реакциями, обеспечивает получение особо чистых веществ.

Развитие техники создает условия для интенсификации физических исследований, делает возможной постановку и экспериментальное изучение принципиально новых физических проблем.

Гуманитарное содержание физики заключается в развитии мышления, формировании мировоззрения и воспитании чувств людей. Кроме этого, физика открыла ряд истин, значимость которых выходит за рамки самой физики, истин, ставших общечеловеческим достоянием. Так, была доказана фундаментальность статистических закономерностей как соответствующих более глубокому этапу (по сравнению с динамическими закономерностями) в процессе познания мира.

Установлено, что вероятностная форма причинности является основной, а жесткая, однозначная причинность есть не более чем частный ее случай. Динамические законы представляют собой первый, низший этап в процессе познания окружающего мира, а статистические законы более совершенно отображают объективные связи в природе, они являются следующим, более высоким этапом познания.

Современная физика подарила человечеству принцип соответствия, который возник в квантовой механике на этапе ее начального развития, но затем превратился в общий методологический принцип. Он демонстрирует важное положение диалектики: процесс познания – это процесс постепенного и бесконечного приближения к абсолютной истине через последовательность относительных истин.

Изучение физики дает возможность показать, что все физические представления и теории отражают объективную реальность лишь приближенно, что наши представления о мире непрерывно углубляются и расширяются, что процесс познания материального мира бесконечен.

2. Преемственность содержания ступеней общего среднего образования.

Реализация этого принципа применительно к отбору содержания обучения предполагает:

- ☑ системное представление содержания образования адекватно целям и задачам второй и третьей ступеней получения общего среднего образования, в основу построения которого закладывается линейно-ступенчатый подход;
- ☑ определенную полноту, относительную внутреннюю замкнутость усваиваемого содержания базового образования с максимальной реализацией принципа практической направленности;
- ☑ обеспечение преемственности между второй и третьей ступенями общего среднего образования и возврат к изучению на третьей ступени ведущих дидактических единиц на более высоком научном уровне.

3. Соответствие содержания во всех его элементах, на всех ступенях и уровнях изучения целям современного образования.

При характеристике ведущего компонента учебного предмета, его ведущих идей важно выявить, какие элементы его содержания работают на формирование способов деятельности и опыта творчества учащихся, индивидуально-личностного их отношения к освоенным ценностям национальной и общечеловеческой культуры.

Это обусловлено и тем, что в контексте культуросообразного подхода к проектированию содержания общего среднего образования научное содержание предлагается отбирать не столько по его месту и роли в системе

той или иной науки, а по значению в формировании общей культуры человека, в развитии интеллектуальных потенциалов учащихся, с учетом его потребностей. Это содержание должно быть развернуто на развитие способностей учащихся, включая и способность находить решение нестандартных задач.

4. Генерализация содержания обучения.

Рассматривается как одно из важнейших направлений развития содержания образования, как один из ведущих принципов обновления образования в контексте современной образовательной парадигмы.

Функция данного принципа заключается:

- ☑ в объединении изучаемого содержания обучения на основе его группирования относительно основных образовательных линий: *материя и виды материи → виды движения материи → виды взаимодействия материи;*
- ☑ в освобождении учащихся от обязательного изучения второстепенных фактов и положений и выдвигании на передний план обобщенных, фундаментальных знаний и универсальных способов деятельности, а также умений применять их для анализа и интерпретации частных фактов.

5. *Универсальность курса физики средней общеобразовательной школы*, который обеспечивает:

- ☑ общекультурный уровень развития тех учащихся, чьи интересы лежат в области гуманитарных наук или не связаны с необходимостью продолжения образования;
- ☑ необходимую базу для учащихся, интересующихся предметами естественнонаучного цикла, которая позволяет получить профессию физико-технического профиля либо продолжить образование в вузах инженерно-технического и факультетах естественнонаучного профиля;
- ☑ оптимальное развитие творческих способностей учащихся, проявивших особый интерес и склонности в области физики, их углубленную подготовку, необходимую для поступления в вузы и университеты физико-технического и физического профилей.

6. Гуманитаризация содержания образования.

Этот принцип может быть реализован через наращивание в содержании образования знаний о человеке и человечности, выделение гуманитарного аспекта учебного предмета и гуманизацию преподавания. Применительно к содержанию естественно-математического образования гуманизация предполагает иллюстрацию оптимальных взаимоотношений в системе "природа-человек" (последствий влияния деятельности человека на природу).

ду, зависимость человека от антропогенных изменений в ней и др.), познание человеком самого себя, реализацию функции формирования творческих способностей учащихся.

7. Практическая направленность содержания.

В широком понимании суть этого принципа можно рассматривать как приближение содержания образования к требованиям повседневной жизни, необходимое и важное условие формирования положительной мотивации учения, социализации учащихся.

Применительно к содержанию учебных курсов и предметов реализацию *принципа практической направленности* можно представить как:

- включение в содержание обучения способов и опыта творческой деятельности;
- изучение учащимися учебных знаний прикладного характера, в том числе значимых для решения личных и социальных проблем;
- формирование ценностных ориентаций учащихся в контексте изучаемых предметных знаний, в том числе и ведения здорового образа жизни и нравственного иммунитета к влиянию негативных факторов социальной среды;
- обеспечение формирования опыта адекватного поведения учащихся в экстремальных и чрезвычайных ситуациях антропогенного, техногенного и иного характера;

8. Оптимальное сочетание высокого уровня фундаментальных знаний и их практической значимости.


9. Общекультурная направленность курса физики, для которой характерны:

- выбор локальных социально и личностно значимых тем, вокруг которых группируется изучение физических закономерностей и их техническое и технологическое применение;
- формирование естественно-научного мировоззрения учащихся;
- возрастание роли человеческого фактора и деятельности по сохранению мира, развитие идей природосбережения и энергосбережения;
- формирование научной картины мира и места человека в ней.

10. Линейно-ступенчатое построение школьного курса физики.

Построение содержания обучения в рамках каждой ступени образования проводится с переходом от изучения простых к более сложным видам движения и взаимодействия материи в соответствии с уровнем подготовки учащихся и их возрастными познавательными возможностями.

11. Определение минимума физических знаний, умений и навыков, необходимых для подготовки к жизни в современном предметном мире.

 *Вопросы для самоконтроля:*

1. В чем состоит научно-познавательный потенциал физики?
2. В чем состоит технический потенциал физики?
3. В чем состоит гуманитарный потенциал физики?
4. Как определяется преемственность содержания ступеней общего среднего образования?
5. В чем заключается соответствие содержания во всех его элементах и на всех уровнях изучения целям современного образования?
6. Что понимают под генерализацией учебного материала?
7. Как определяется универсальность курса физики средней общеобразовательной школы?
8. Что понимают под гуманитаризацией содержания образования?
7. В чем заключается практическая направленность содержания обучения?
8. Что понимают под оптимальным сочетанием высокого уровня фундаментальных знаний и их практической значимости?
9. Как определяется общекультурная направленность курса физики?
10. Какое построение школьного курса физики называют линейно-ступенчатым?

1.3 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

В качестве основных целей структурирования содержания обучения в дидактике рассматриваются:

- разработка такой его структуры, которая оказалась бы наиболее рациональной и экономной с точки зрения ее усвоения и хранения в долговременной памяти учащихся;
- встраивание в создаваемую структуру способа уплотнения знаний, их свертывания и развертывания, чтобы освободить учащихся от необходимости держать памяти большой объем фактического материала (в условиях беспрерывно увеличивающегося потока информации эта позиция приобретает особую актуальность);
- группирование и выстраивание учебных знаний таким образом, чтобы в них в качестве необходимого элемента можно было ввести аппарат учебно-познавательной деятельности; успешное усвоение учащимися этого аппарата должно обеспечивать поступательное развитие их познавательной деятельности, творческих возможностей и способностей.

Общепринятыми положениями конструирования содержания обучения в дидактике являются следующие утверждения:

- ☑ составными частями учебных знаний являются предметные знания, знания о методах познания и историко-научные знания;
- ☑ структурные элементы научных знаний выступают в роли дидактических единиц содержания обучения, являются теми единицами, которые должны быть усвоены в целостном виде, что и является определяющим фактором в конструировании соответствующего процесса обучения, способов организации учебных знаний;
- ☑ в учебных курсах и предметах ведущими компонентами предметных научных знаний, единицами содержания образования являются теории, законы, понятия, системы понятий, методы науки, факты;
- ☑ в содержании учебных курсов и предметов базовая наука отражается не только как система предметных, но и методологических знаний (о процессе и методах познания), приемов обучения, соответствующих методам науки и логике организации познания (движение мысли от явления к сущности и от сущности к явлению);
- ☑ логика учебного предмета, т.е. система функционирования учебного знания (механизм структурирования учебных знаний, способы получения производного знания, принятая система обоснований и доказательств суждений) конструируется для решения определенных методических установок, обусловленных образовательными целями и дидактическими принципами, не является прямым отражением логики науки и характеризуется, прежде всего, с позиции соответствия логики учебного предмета современному состоянию науки, современным научным представлениям, понятиям и методам познания, современному стилю мышления.

Составные элементы содержания обучения выстраиваются в определенных связях и отношениях, отражающих;

а) логику общественно-исторического процесса познания и его результаты,

б) логику построения предметных знаний,

в) методологию базовой науки,

г) методологию дидактики учебного предмета.



Вопросы для самоконтроля:

1. Каковы цели структурирования содержания обучения?
2. Какие компоненты рассматриваются составными частями предметных знаний?
3. В какой роли в содержании обучения выступают структурные элементы науки?

4. Каковы ведущие компоненты предметных научных знаний?
5. Какова роль методологических знаний в содержании образования?
6. Что понимают под логикой учебного предмета?
7. Как выстраиваются составные элементы содержания учебного материала?

1.4 НАУЧНОСТЬ (СТЕПЕНЬ АБСТРАКЦИИ) ОПИСАНИЯ ПРЕДМЕТНЫХ ЗНАНИЙ

Анализ состояния науки во всех областях человеческой деятельности позволяет выделить несколько способов описания явлений действительности, которые представляют последовательные ступени развития науки. Эти ступени названы В. П. Беспалько степенями абстракции в описании соответствующих явлений и обозначены буквой β [5]. Научное описание достигает совершенства, когда оно дается на языке математики. Однако математизация науки – это сложный процесс постепенного перехода от естественного языка, используемого для констатации объектов и явлений, к языку формальному, ведущему к предсказанию и от него к прогнозированию. Используемый язык оказывает влияние на характер учебно-познавательной деятельности учащихся.

Чем выше степень абстракции в изложении содержания обучения, тем больше его обобщенность и свернутость. Это в свою очередь способствует совершенствованию у учащихся интеллектуальных умений, становящихся все более гибкими и содержательными.

Последовательность степеней абстракции может быть представлена так:

☑ *Феноменологическая* степень ($\beta = 1$) – описательное изложение фактов и явлений, каталогизация объектов, констатация их свойств и качеств, использование преимущественно естественного языка и житейских понятий. Уровень достижимого понимания процессов и явлений при этой степени описания предметных знаний часто бывает недостаточным для продуктивной деятельности в изучаемой области. Для начального этапа обучения эта степень абстракции содержания обучения может быть вполне достаточной.

☑ *Аналитико-синтетическая* степень абстракции ($\beta = 2$) – качественное и полуколичественное объяснение явлений действительности и свойств объектов и закономерностей (известны сущность первого порядка, свойства объектов и явлений, механизмов, управляющих функционированием анализируемых фактов и процессов). Имеется возможность предсказания направленности дальнейшего развития наблюдаемых явлений. Образуется

язык науки с присущими ей понятиями и выражениями, символами, обозначениями.

☑ *Прогностическая* степень ($\beta = 3$) – объяснение явлений предметной области с созданием их количественной теории, моделированием основных процессов, аналитическим представлением законов и свойств объектов изучения. Возможен прогноз сроков и результатов хода изучаемых явлений и процессов. Создан развитый язык науки и она становится основой технологий и техники.

☑ *Аксиоматическая* степень ($\beta = 4$) – объяснение явлений с использованием высокого уровня общности описания (большой объем знаний и широкое использование научного языка, известны общие законы функционирования объектов любой природы). Возможен точный и долгосрочный прогноз и объяснение.

Если представить шкалу ступеней абстракции как шкалу интервалов, то можно предложить для оценки степени научности содержания обучения *коэффициент научности* (K_β): $K_\beta = \beta_\phi / \beta_\tau$; где β_ϕ – фактическая степень абстракции, на которой ведется преподавание, β_τ – степень абстракции, достигнутая в отрасли науки. Так как β_ϕ может изменяться от 1 до 4, то $1/4 \leq K_\beta \leq 1$.

📖 *Вопросы для самоконтроля:*

1. Что понимают под степенью абстракции в описании предметных знаний?
2. Каковы особенности *феноменологической* степени описания предметных знаний?
3. Каковы особенности *аналитико-синтетической* степени описания предметных знаний?
4. Каковы особенности *прогностической* степени описания предметных знаний?
5. Каковы особенности *аксиоматической* степени описания предметных знаний?

1.5 СТРУКТУРИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

1.5.1 Содержание и структура физических знаний

Предметом исследования физики является *строение материи и простейшие ее формы движения и взаимодействия*. В современной науке рассматривается два вида материи: вещество и поле. К простейшим формам движения материи относят механическое, тепловое, электромагнитное и взаимные превращения элементарных частиц и поля.

Все взаимодействия, наблюдаемые в окружающей человека действительности, можно свести к четырем основным типам: *гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное*. Поэтому *физические знания* – это *конкретно-научные знания о строении материи и простейших формах ее движения и взаимодействия*. Они имеют определенную структуру и включают следующие составные элементы: научные факты, понятия, законы и закономерности, теории, методы познания. Структуру физических знаний можно отразить блок-схемой (рис. 1).

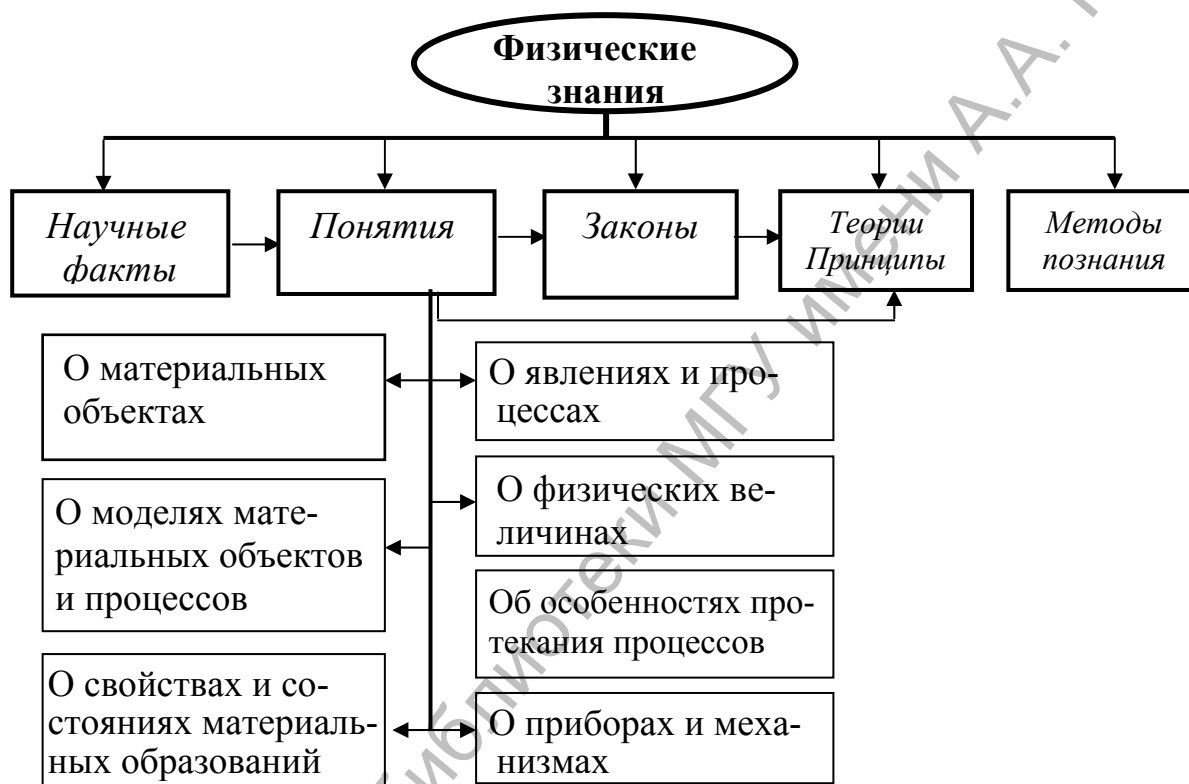


Рис. 1

Определим выделенные структурные элементы физических знаний. Физика является экспериментальной наукой. Для исследования физических объектов (макротел, элементарных частиц, полей и др.) проводятся наблюдения за этими объектами в естественных условиях и (или) ставится специальный научный опыт (физический эксперимент), в котором целенаправленно изучаются определенные свойства физического объекта (например, инертность, теплопроводность, электропроводность и т.д.) в строго определенных условиях.

Полученные в результате наблюдений и (или) эксперимента сведения называют научными фактами. Таким образом, *научные факты* – это знания, которые являются отражением реальных явлений (свойств объектов), происходящих в природе, достоверность которых доказана.

Установленные научные факты обрабатываются и анализируются. Обработка и анализ фактов предполагает их качественное и количественное описание путем выделения основных, существенных признаков, характерных для определенного класса явлений. В результате обобщения фактов формулируются физические понятия.

Физическим понятием называют мысль (знание), в которой отражены общие существенные свойства (стороны) физических объектов и явлений определенного класса, существенные связи и отношения между ними.

Слово или словосочетание, которое является точным названием определенного физического понятия, называется *физическим термином*.

Понятия являются важнейшей составляющей теоретического знания. Понятия – основное средство формирования и накопления достигнутых человеком научных и практических знаний. Именно с помощью понятий учителем в ходе обучения осуществляется передача учебной информации, вооружение учащихся знаниями и умениями.

Каждое понятие характеризуется *содержанием* и *объемом*. Основным содержанием понятия называют совокупность его существенных признаков. Так, в основное содержание понятия о равномерном прямолинейном движении входят следующие отличительные признаки: равенство перемещений за любые равные промежутки времени, постоянство вектора скорости, равенство нулю вектора ускорения. Полное содержание понятия включает в себя и знания о связях данного понятия с другими понятиями.

Объемом понятия называют совокупность обобщаемых объектов. Так все планеты солнечной системы составляют объем понятия о планете.

Физические понятия можно разделить на следующие основные группы:

- ☑ о *материальных объектах* – структурных элементах вещества и проявлениях физического поля;
- ☑ о *свойствах и состояниях материальных объектов* – качествах, признаках, составляющих их отличительную особенность;
- ☑ о *явлениях* (всякое обнаружение проявления свойств материальных объектов) и *процессах* (изменение состояний материальных объектов);
- ☑ об *особенностях протекания процессов*;
- ☑ о *моделях материальных объектов и процессов* – схемах, уменьшенных (или в натуральную величину) воспроизведениях или макетах материальных образований или явлений и процессов;
- ☑ о *физических величинах* – количественных характеристиках свойств материальных образований и их состояний, особенностей протекания явлений и процессов, то, что можно измерить, вычислить;
- ☑ о *приборах и механизмах* – приспособлениях, специальных устройствах, аппаратах для выполнения какой-нибудь работы, управления, регулирования, измерения;

Физические законы выражают необходимые, устойчивые, существенные связи между величинами, обусловленные существованием причинно-следственных связей между свойствами физических объектов или между явлениями и процессами, которые происходят в природе. Закон является важнейшей составляющей теоретического знания. Для того чтобы познать закон, необходимо раскрыть ту или иную сторону сущности исследуемого предмета или явления. В физических законах отражается то наиболее существенное, что есть в явлениях, которые реально происходят.

Установление физических законов лишь описывает протекание физических явлений или поведения физических объектов. Объяснение же закона (т.е. почему данное явление происходит именно так) осуществляется на основании физической теории. *Физическая теория* – это высшая форма организации физических знаний, дающая целостное представление о закономерностях и существенных связях объекта данной теории.

Физическое описание реальных объектов и явлений предполагает учет только их существенных сторон, т.е. замену реального объекта или явления его идеальной физической моделью. *Модель* – это созданный человеком аналог (схема, изображение описание и т.д.), который в определенном смысле имитирует, воспроизводит реально существующие процессы, составляющие объект научного исследования.

Необходимость же моделирования физических объектов и явлений вытекает из принципиальной невозможности полного описания всех свойств физических объектов и взаимосвязей между явлениями реального физического мира. Физические понятия, законы и теории формулируются для идеальных физических объектов или явлений, которые являются моделями, отражающими свойства реальных объектов и явлений, существующих в природе. Поэтому физика как наука может рассматриваться как физико-математическая модель реального мира.

В качестве примера выделим структурные элементы физических знаний в содержании обучения учащихся в 9-м классе (таблица 1).

Таблица 1

Учебная тема	Основы кинематики	Основы динамики	Законы сохранения в механике
Понятия:			
Явления и процессы	Механическое движение	Взаимодействие тел, всемирное тяготение, действие Земли на окружающие тела, трение, деформация, изменение состояния тел при взаимодействиях	Реактивное движение; механическая работа

Учебная тема	Основы кинематики	Основы динамики	Законы сохранения в механике
Свойства и состояния материальных объектов		Инертность, невесомость	
Модели материальных объектов, процессов и явлений	Физическое тело, материальная точка, система отсчёта, траектория, кинематический график скорости, ускорения, движения и пройденного пути, прямолинейное равномерное движение, прямолинейное равноускоренное движение	Инерциальная система отсчета	Замкнутая система тел
Физические величины	Координаты, перемещение, скорость, ускорение, пройденный путь, радиус кривизны траектории, частота, период, центростремительное ускорение	Сила, масса, сила всемирного тяготения, постоянная всемирного тяготения, сила тяжести, сила упругости, жесткость тела, вес тела, сила трения, коэффициент трения, вес тела, сила реакции опоры, первая космическая скорость	Импульс тела и системы тел, импульс силы; работа силы, работа силы тяжести, работа силы упругости, работа силы трения, энергия, потенциальная энергия, кинетическая энергия
Особенности протекания явлений и процессов	Криволинейное движение, прямолинейное движение, относительность механического движения	Трение покоя, трение скольжения, взаимодействие при соприкосновении, взаимодействие на расстоянии	
Приборы и устройства		Динамометр, рычажные весы, искусственный спутник Земли.	Ракета, реактивный двигатель
Принципы	Относительности движения	Независимости действия сил	

Учебная тема	Основы кинематики	Основы динамики	Законы сохранения в механике
Законы и закономерности	Сложения перемещений, кинематические законы прямолинейного равномерного движения, прямолинейного равноускоренного движения, равномерного движения по окружности, закон сложения скоростей	Законы Ньютона, закон всемирного тяготения, зависимость веса тела от ускорения его движения, закон Гука, зависимость силы тяжести действующей на тело от его массы, зависимость силы трения от силы реакции опоры.	Закон сохранения импульса, закон сохранения механической энергии, закон об изменении импульса тела, теорема об изменении кинетической энергии

Создание того или иного структурного элемента физических знаний предполагает описание его содержания. Содержание названных структурных элементов можно описать по следующим схемам:

Понятия:

- ☑ **о материальных объектах** (структурных элементах вещества и проявлениях физических полей): название, отличительные признаки, свойства и количественные характеристики;
- ☑ **о явлениях и процессах**: название, отличительные признаки, условия протекания, механизм, законы, описывающие процесс, связь с другими явлениями, проявление и применение;
- ☑ **о моделях материальных объектов и процессов**: название, описание, вид, характеристики условий совпадения свойств реальных объектов и их моделей;
- ☑ **о свойствах и состояниях материальных объектов**: название, описание, количественные характеристики;
- ☑ **об особенностях протекания явлений и процессов**: название, описание, проявление и применение;
- ☑ **о физических величинах**: название, что характеризует, единицы измерения, связь с другими величинами, способы измерения, принимаемые значения, векторная или скалярная;
- ☑ **о приборах и устройствах**: название, назначение, принцип действия, устройство, технические характеристики, применение.

Законы и закономерности: название, математическая запись, формулировка, опыты, подтверждающие закон, область действия и применения.

Физическая теория:

- ☑ **основание** (эмпирический базис, научные факты, идеализированный объект и его свойства, физические величины как характеристики

ки идеализированного объекта и их измерение, правила операций с физическими величинами);

- ☑ *ядро* (постулаты, принципы, уравнения, общая модель связей и отношений, заложенных в теоретическом обобщении и относящихся к идеализированному объекту);
- ☑ *следствия* (количественные, конкретные выводы из ядра теории, восхождение от абстрактного к конкретному);
- ☑ *экспериментальная проверка следствий* (проверка теории в эксперименте);
- ☑ *практическое применение результатов теории*.

Содержание структурных элементов физических знаний одного и того же вида (типа) в процессе обучения *воссоздается (конструируется) по одному алгоритму*, многократное применение которого позволяет учащимся усвоить не только содержание физических знаний, *но и способ познавательной деятельности* (алгоритм, который является ориентировочной основой деятельности).

Приведем описание содержания структурных элементов физических знаний по механике для 9-го класса (таблицы 2–4).

Таблица 2

Основы кинематики

<i>Явления и процессы</i>						
<i>Название</i>	<i>Отличительные признаки</i>	<i>Условия протекания</i>	<i>Механизм</i>	<i>Законы, описывающие явления</i>	<i>Связь с другими явлениями</i>	<i>Проявление и применение</i>
Механическое движение	Изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени	Некомпенсированное воздействие на объект других тел	–	Кинематический закон движения. Закон сложения скоростей	Другие формы движения материи	Движение транспорта, механизмов, частей станков, спутников
<i>Модели материальных образований, процессов и явлений</i>						
<i>Название модели</i>	<i>Описание, характеристики</i>			<i>Условия совпадения свойств реальных объектов и их моделей</i>		
Материальная точка	Тело, размеры которого в данных условиях можно не учитывать			Размеры тела малы по сравнению с расстоянием их наблюдения или пройденным им путем. При поступательном движении тела		

Система отсчета	Реальное или условное тело, с которым связана система координат, снабженная часами и используемая для определения положения исследуемых физических тел в различные моменты времени					
Траектория	Линия, описываемая материальной точкой при ее движении относительно выбранной системы отсчета					
Кинематический график скорости	Графическое изображение зависимости проекции скорости тела на ось (модуля скорости) от времени					
Кинематический график ускорения	Графическое изображение зависимости проекции ускорения тела на ось (модуля ускорения) от времени					
Кинематический график движения	Графическое изображение зависимости координаты тела от времени					
Кинематический график пути	Графическое изображение зависимости пройденного телом пути от времени					
Прямолинейное равномерное движение	Движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения	Для некоторого промежутка времени относительное изменение скорости прямолинейного движения тела мало				
Прямолинейное равноускоренное движение	Движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково	Для некоторого промежутка времени относительное изменение ускорения прямолинейного движения тела мало				
Свободное падение тела	Движение тела только под действием силы тяжести	Падение тел в воздухе, если $F_T \gg F_c$				
<i>Физические величины</i>						
Название	Что характеризует	Единица СИ	Связь с другими величинами	Способы измерения	Принимаемые значения	Векторная или скалярная
Координаты (x, y, z)	Положение тела в выбранной системе отсчета	м	$x = x_0 + v_x \cdot t$ $x = x_0 + v_x t + \frac{a_x t^2}{2}$	Линейка, косвенно	$-\infty < x < +\infty$ $-\infty < y < +\infty$ $-\infty < z < +\infty$	Скалярная

Перемещение ($\Delta\vec{r}$)	Изменение положения тела в выбранной системе отсчета	м	$\Delta\vec{r} = \vec{v} \cdot t$ $\Delta\vec{r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$	Линейка, косвенно	$0 \leq \Delta r < +\infty$	Векторная
Пройденный путь (s)	Изменение положения тела в выбранной системе отсчета	м	$s = \langle v \rangle \cdot t$	Курвиметр, косвенно	$0 \leq s < +\infty$	Скалярная
Скорость равномерного движения (\vec{v})	Быстроту изменения положения тела в пространстве	$\frac{м}{с}$	$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{t}$	Спидометр, косвенно	$0 \leq v < 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Векторная
Мгновенная скорость ($\vec{v}_{\text{мгн}}$)	Быстроту изменения положения тела в пространстве	$\frac{м}{с}$	$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ при $\Delta t \rightarrow 0$	Спидометр, косвенно	$0 \leq v < 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Векторная
Средняя скорость перемещения ($\langle \vec{v} \rangle$)	Быстроту изменения положения тела в пространстве	$\frac{м}{с}$	$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$	Косвенно	$0 \leq v < 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Векторная
Средняя скорость пути ($\langle v \rangle$)	Быстроту изменения положения тела в пространстве	$\frac{м}{с}$	$\langle v \rangle = \frac{s}{\Delta t}$	Косвенно	$0 \leq v < 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Векторная
Мгновенное ускорение (\vec{a})	Быстроту изменения мгновенной скорости	$\frac{м}{с^2}$	$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ при $\Delta t \rightarrow 0$	Акселерометр, косвенно	$0 \leq a < +\infty$	Векторная
Ускорение равноускоренного движения (\vec{a})	Быстроту изменения мгновенной скорости	$\frac{м}{с^2}$	$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$	Акселерометр, косвенно	$0 \leq a < +\infty$	Векторная
Ускорение свободного падения (\vec{g})	Быстроту изменения скорости при его свободном падении	$\frac{м}{с^2}$	$\vec{g} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$	Косвенно	$g = 9,8 \text{ м/с}^2$	Векторная

Продолжение таблицы 2

Частота (ν)	Быстроту вращения тела	1 Гц = 1 с ⁻¹	$\nu = \frac{N}{t}$	Тахометр, косвенно	$0 \leq \nu < +\infty$	Скалярная
Период (T)	Длительность одного полного оборота	с	$T = \frac{t}{N}$	Секундомер, косвенно	$0 \leq T < +\infty$	Скалярная
Угловая скорость (ω)	Быстроту изменения угла поворота радиус-вектора мат. точки	рад/с	$\omega = \frac{\varphi}{t}$	Косвенно	$0 \leq \omega < +\infty$	Векторная
Центростремительное ускорение ($\vec{a}_{ц.с.}$)	Быстроту изменения направления вектора скорости	$\frac{m}{c^2}$	$a = \frac{v^2}{R}$	Косвенно	$0 \leq a < +\infty$	Векторная

Особенности явлений и процессов

Название	Описание особенностей	Проявление и применение
Криволинейное движение	Траектория – кривая линия. Ее можно представить как совокупность движений по дугам окружностей	Движение планет, спутников, тел, брошенных горизонтально и под углом к горизонту
Прямолинейное движение	Траектория – прямая линия	Движение транспорта на прямых участках дороги
Относительность механического движения	Зависимость покоя и параметров движения от выбора системы отсчета	Субъективное восприятие движения и покоя

Законы и закономерности

Название	Математическая запись	Устанавливает связь между величинами	Границы (область) применения	Примеры использования и учета действия
Кинематические законы (уравнения), прямолинейного равномерного движения	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{t}$ $\Delta \vec{r} = \vec{v} \cdot t$ $x = x_0 + v_x t$	Координаты, скорость, время, перемещение	При применении модели равномерного прямолинейного движения мат. точки	Движение транспорта, молекул
Кинематические законы (уравнения) прямолинейного равноускоренного движения	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$ $\Delta \vec{r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$ $x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	Координаты, скорость, время, перемещение, ускорение	При применении модели равноускоренного прямолинейного движения точки (тела)	Движение транспорта при торможении и разгоне

Кинематические законы (уравнения) равномерного движения тела по окружности	$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R}$ $v = \omega R$ $v = \frac{2\pi R}{T}$	Центростремительное ускорение, скорость, радиус кривизны, угловая скорость, период	При применении модели движения по окружности с постоянной по модулю скоростью	Движение ИСЗ, деталей станков и механизмов
--	--	--	---	--

Таблица 3

Основы динамики

Явления и процессы						
Название	Отличительные признаки	Условия протекания	Механизмы	Законы, описывающие явления	Связь с другими явлениями	Проявление и применение
Всемирное тяготение	Взаимное притяжение любых вещественных объектов	При любых условиях	Взаимодействие через гравитационное поле	Закон всемирного тяготения $F_{вт} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	Механическое движение под действием сил тяготения	Движение планет, искусственных спутников
Действие Земли на окружающие тела	Притяжение тел к Земле	В пределах размеров солнечной системы	Взаимодействие через гравитационное поле Земли	$F_m = mg$	Движение под действием силы тяжести	Движение Луны, ИСЗ, падение тел, невесомость
Трение	Препятствие относительному перемещению тел, вызывает нагревание тел	Соприкосновение тел, наличие сил, стремящихся или приводящих к относительному движению	Зацепление неровностей, трущихся поверхностей, молекулярное взаимодействие	Закон Амонтона – Кулона $F_{тр}^{пок} = \mu_{пок} N$ $F_{тр}^{ск} = \mu_{ск} N$	Механическое движение, тепловое движение	Возникновение и исчезновение движения, создание тормозов, транспортер, сварка трением
Механическое давление	Деформация взаимодействующих тел	Соприкосновение тел, наличие силы давления	Возникновение упругих сил при деформации	$p = \frac{F}{S}$	Деформация, действие Земли на окружающие тела	Давление фундаментов, опор; затачивание инструментов

Деформация	Изменение формы или размеров тел	Действие внешних сил	Изменение равнодействующей молекулярных сил при изменении расстояния между молекулами	Закон Гука $F_{упр} = k\Delta l$ $F_{упр\ x} = -kx$	Механическое движение, давление	Деформация стен, балок, опор, крепежных частей, валов, осей
Инерция	Сохраняется скорость тела	Скомпенсированные внешние воздействия			Механическое движение, взаимодействие	Отклонение пассажира при резком движении транспорта, насадка молотка на ручку

Модели материальных образований, явлений и процессов

Название	Описание, характеристики	Условия совпадения свойств реальных объектов и их моделей
Инерциальная система отсчета	Система отсчета, в которой тело при компенсации внешних воздействий сохраняет свою скорость	Тела покоятся или движутся равномерно прямолинейно относительно Земли, Солнца, далеких звезд

Свойства и состояния материальных образований

Название	Описание свойства	Количественное описание	Проявление и применение
Инертность	Противодействие тела изменению его скорости	Масса (m)	Буксировка, торможение
Невесомость	Состояние механической системы, при котором действующее на систему внешнее гравитационное поле не вызывает взаимного давления одной части системы на другую и их деформации	$P = 0$	Свободное падение тел, движение космонавтов в космических кораблях, движущихся с выключенными двигателями

Особенности явлений и процессов

Название	Описание и объяснение состояния (особенности)	Количественное описание	Проявление и применение
Трение покоя	Механическое взаимодействие между неподвижными твердыми телами, которое возникает в местах их соприкосновения и препятствует относительному перемещению тел в направлении, лежащем в плоскости их соприкосновения	$(F_{тр})_{\max} = \mu N$	Транспортер, тела на наклонной плоскости, скрепление деталей

Трение скольжения	Механическое взаимодействие между движущимися твердыми телами, которое возникает в местах их соприкосновения и препятствует относительному перемещению тел в направлении, лежащем в плоскости их соприкосновения	$F_{тр} = \mu N$	Торможение
Взаимодействие при соприкосновении	Непосредственные взаимодействия тел друг на друга	Сила, F	Давление, трение, упругость
Взаимодействие на расстоянии	Взаимодействие тел друг на друга через материальную среду	Сила, F	Гравитационное взаимодействие

Физические величины

Название	Что характеризует	Единицы измерения	Связь с другими величинами	Способы измерения	Принимаемые значения	Векторная или скалярная
Сила	Действие одного тела на другое, в результате которого возникает ускорение тела или отдельных его частей	H	$\vec{F} = m\vec{a}$	Силовой динамометр, косвенно	$0 \leq F < \infty$	Векторная
Масса	Инертные и гравитационные свойства тел	$кг$	$m = \frac{F}{a}$	Взвешивание, косвенно	$0 < m < \infty$	Скалярная
Сила всемирного тяготения	Гравитационное взаимодействие вещественных объектов	H	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	Косвенно	$0 < F < \infty$	Векторная
Постоянная всемирного тяготения	Гравитационное взаимодействие между телами массой $1 кг$ на расстоянии $1 м$	$\frac{H \cdot м^2}{кг^2}$		Косвенно	$6,67 \cdot 10^{-11}$	Скалярная
Сила тяжести	Гравитационное взаимодействие между Землей и другими телами	H	$F_m = mg$	Динамометр, косвенно	$0 < F < \infty$	Векторная

Сила трения покоя	Взаимодействие между соприкасающимися телами, препятствующее возможному движению тел	N	$(F_{mp}^{пок})_{max} = \mu N$	Динамометр, косвенно	$0 \leq F < \infty$	Векторная
Сила трения скольжения	Взаимодействие между соприкасающимися телами, препятствующее движению одного тела по поверхности другого	N	$F_{mp}^{ск} = \mu N$	Динамометр, косвенно	$0 \leq F < \infty$	Векторная
Коэффициент трения	Свойство трущихся поверхностей		$\mu = \frac{F_{mp}}{N}$	Косвенно	$0 \leq \mu < 1$	Скалярная
Сила упругости	Упругие взаимодействия тел	N	$F_y = kx$	Динамометр, косвенно	$0 \leq F_y < \infty$	Векторная
Вес тела	Действие тела на опору или подвес вследствие притяжения к Земле	N	$P = m(g \pm a)$	Динамометр, косвенно	$0 \leq P < \infty$	Векторная
Сила реакции опоры	Действие опоры на тело	N	$\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{тр}$ N – сила нормальной реакции опоры	Косвенно	$0 \leq R < \infty$	Векторная
Жесткость тела	Упругие свойства тел	$\frac{N}{m}$	$k = \frac{F}{x}$	Косвенно	$0 < k < \infty$	Скалярная
1-я космическая скорость	Движение спутника планеты по круговой орбите	$\frac{m}{c}$	$v = \sqrt{gR}$	Косвенно	7900 (для Земли)	Векторная

Приборы и устройства

Название	Назначение	Принцип действия	Устройство	Технические характеристики	Применение
Искусственный спутник Земли	Движение по орбите вокруг Земли			Масса, высота орбиты (в перигее, апогее), период обращения вокруг Земли	Спутниковая, телевизионная, телефонная связь, радиовещание, геологоразведка; прогноз погоды.

Динамометр	Измерение силы	Под действием измеряемой силы пружина деформируется; модуль силы упругости равен измеряемой силе	Пружина, шкала, передаточный механизм, указатель	Цена деления, предел измерения	Измерения веса тела, мускульной силы руки человека, определение силы тяги транспортного средства
Рычажные весы	Измерение массы тела	Равенство моментов сил тяжести, действующих на тела	Коромысло, чаши, указатель	Чувствительность, предел измерения	В быту определение масс различных тел
<i>Принципы</i>					
<i>Название</i>			<i>Пояснение сущности</i>		
Относительности Галилея			Все механические явления протекают одинаково во всех ИСО при одинаковых начальных и граничных условиях		
Независимости действия сил			Каждая из сил, характеризующих одновременное воздействие на материальную точку (полей), сообщает ей такое же ускорение, как если бы других сил не было		
<i>Законы и закономерности</i>					
<i>Название</i>	<i>Математическая запись</i>	<i>Устанавливает связь между величинами</i>	<i>Опыты, подтверждающие закон</i>	<i>Границы (область) применения</i>	<i>Примеры использования и учета действия</i>
Первый закон Ньютона			Мысленные опыты Галилея	Для материальных точек в ИСО	Движение по инерции
Второй закон Ньютона	$\vec{F} = m\vec{a}$	Силой, действующей на тело, массой тела, ускорением тела	Опыты по взаимодействию тел при соприкосновении	Для материальных точек в ИСО	
Третий закон Ньютона	$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$	Силами, возникающими при взаимодействии	Опыты по взаимодействию тел	Для любых тел в ИСО	Реактивное движение, учет отдачи
Закон всемирного тяготения	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	Массами взаимодействующих тел, расстоянием между ними, силой гравитационного взаимодействия	Опыт Кавендиша с крутильными весами, опыт со свинцовыми и ртутными шарами	Для тел шарообразной формы, принимаемых за материальные точки	Астрономия, космонавтика

Зависимость веса тела от ускорения движения	$P = m(g \pm a)$ $P = m \bar{g} - \bar{a} $	Весом тела, массой тела, ускорением тела, ускорением свободного падения	Падение тела на пружине	Движение в вертикальной плоскости	Космонавтика
Закон Гука	$(F_{\text{упр}})_x = -kx$	Проекцией силы упругости, жесткостью и деформацией тела	Растяжение пружины, резинового жгута	При упругих деформациях	Амортизаторы, пневматические механизмы
Закон Амонта-на – Кулона	$F_{\text{тр}} = \mu N$	Силой трения (покоя) скольжения, коэффициентом трения	Опыт с демонстрационным трибometром	Ограниченная область изменения давлений	Движение транспортных средств, транспортер

Таблица 4

Законы сохранения в механике

Явления и процессы						
Название	Отличительные признаки	Условия протекания	Механизм	Законы (закономерности), описывающие явления	Связь с другими явлениями	Проявление и применение
Реактивное движение	Изменение скорости тел системы без внешнего воздействия	Отделение от целого его части	Изменение импульсов тел вследствие их взаимодействия	Закон сохранения импульса, взаимосвязь изменения импульса тела и импульса действующей силы	Взаимодействие тел	Военные и космические ракеты, отдача при стрельбе и вытекании струи жидкости
Механическая работа	Передача механической энергии	$\Delta r \neq 0$ $F \neq 0$ $\alpha \neq 90^\circ$	Под действием силы перемещается тело	$A = F \Delta r \cos \alpha$	Взаимодействие и движение тел	Движение транспортных средств, станков и механизмов

Модели материальных образований

Название	Описание, характеристики	Условия совпадения свойств модели и реальных объектов
Замкнутая система	Совокупность тел, взаимодействующих только между собой	1. Взаимодействие с внешними телами пренебрежимо мало ($F_{\text{внутр}} \gg F_{\text{внеш}}$) 2. При кратковременном воздействии внешних сил

Физические величины

Название	Что характеризует	Единица измерения	Связь с другими величинами	Способ измерения	Принимаемые значения	Векторная или скалярная
Импульс тела (\vec{p})	Мера механического движения тела	$\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	Масса и скорость тела	Косвенно	$0 \leq p < \infty$	Векторная

Импульс силы (\vec{I})	Результат действия силы за некоторое время	$H \cdot c$	$\vec{I} = \vec{F}t$	Косвенно	$0 \leq I < \infty$	Векторная
Механическая работа (A)	Процесс обмена (движением) энергией между телами	Дж	$A = F\Delta r \cos \alpha$ $A = \Delta E$	Косвенно	$-\infty < A < +\infty$	Скалярная
Потенциальная энергия (E_p, Π, W_p)	Способность тел (или их частей) совершать работу вследствие их взаимодействия	Дж	$E_p = m \cdot g \cdot h$ $E_p = \frac{kx^2}{2}$ $A_{тяжс} = -\Delta E_p$ $A_{упр} = -\Delta E_p$	Косвенно	$-\infty < E_p < +\infty$	Скалярная
Кинетическая энергия (E_k, K, W_k)	Способность тел совершать работу вследствие их движения	Дж	$E_k = \frac{mv^2}{2}$ $A = \Delta E_k$	Косвенно	$0 \leq E_k < +\infty$	Скалярная
Мощность (P)	Быстроту совершения работы	Вт	$P = \frac{A}{t}$	Косвенно	$0 \leq P < \infty$	Скалярная
Коэффициент полезного действия	Степень совершенства технического устройства	%	$\eta = \frac{A_n}{A_з} 100\%$	Косвенно	$0 < \eta < 100$	Скалярная

Приборы и устройства

Название	Назначение	Принцип действия	Устройство	Технические характеристики	Применение
Ракета	Передвижение в пространстве	ЗСИ для системы «корпус – топливо»	Корпус, топливо, окислитель, камера сгорания	Дальность полета, грузоподъемность	Оружие. Космические полеты

Законы и закономерности

Название	Математическая запись	Устанавливает связь между величинами	Опыты, подтверждающие закон	Границы (область) применения	Примеры использования и учета
Закон сохранения импульса	$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 + \dots + \vec{p}'_n$	Импульсом тел системы до и после их взаимодействия	Взаимодействие тележек	Замкнутые системы тел	Движение ракет, калмара в воде, водометного катера
Закон сохранения механической энергии	$E_k + E_p = const$	Потенциальной и кинетической энергией тел системы до и после их взаимодействия	Падение тел в разряженном воздухе	Замкнутые системы тел, взаимодействующие с силами тяготения или упругости	Учитывается при конструировании технических устройств

Зависимость E_k тела от его характеристик	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	Кинетической энергией тела, его скоростью движения и массой	Движение тел различной массы с различной скоростью	$v \ll c$	В инженерных расчетах. При движении транспорта
Зависимость E_p тела в поле силы тяжести от его положения	$E_p = mgh$	Потенциальной энергией тела, его массой, ускорением свободного падения и высотой над нулевым уровнем	Совершение работы движущимися в поле силы тяжести телами	Для всех тел и планеты	Механизм для забивания свай
Зависимость потенциальной энергии от ее характеристик	$E_p = \frac{kx^2}{2}$	Потенциальной энергией упруго деформированного тела, коэффициентом жесткости и степенью его деформации	Совершение работы упруго деформированными телами	Для упругих деформаций тел	Применение деформированных пружин в механизмах
Закон изменения импульса тела	$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$	Изменением импульса тела и результирующей всех сил, приложенных к телу		При любых взаимодействиях тел	Давление газа на стенки сосуда
Теорема об изменении кинетической энергии тела	$A = \Delta E_k$	Изменением кинетической энергии тела и работой силы, приложенной к телу		При упругих взаимодействиях тел	Разгон тел (самолетов, ракет, частиц и т. д.) до некоторой скорости

В логической структуре физических знаний можно выделить два уровня: эмпирический и теоретический. *Эмпирический* уровень физического знания составляют данные опытов, эмпирические понятия, законы и закономерности. *Теоретический* уровень физических знаний составляют физические теории, основные идеи, принципы (основные, исходные положения какой-нибудь теории, учения), гипотезы (предположения, требующие подтверждения).

Составной частью любой науки является ее методология, т.е. совокупность методов исследования объекта. Разнообразные методы и приемы ис-

следовательской деятельности в теории познания образуют следующие группы методов:

1. Общелогические методы (общие принципы научного мышления: анализ, синтез, индукция, дедукция, абстрагирование, моделирование, умозаключение и т.д.).

2. Методы научного познания:

☑ методы построения эмпирического знания (наблюдение, эксперимент, измерение);

☑ методы построения теоретического знания (идеализация, аналогия, формализация, выдвижение гипотез, моделирование, мысленный эксперимент).

3. Специальные методы, приемы и процедуры экспериментального характера, непосредственно связанные с сущностью явления и применяемые в узкой области или науке.

Содержание и структуру экспериментального метода исследования можно отразить блок-схемой, приведенной на рисунке 2.

Содержание и структуру теоретического метода исследования можно отразить следующей блок-схемой представленной на рисунке 3.

1.5.2 Конструирование содержания обучения физике

Структурирование предметных знаний включает группирование их составных (структурных) элементов в системы, обладающие относительной самостоятельностью и позволяющие в рамках 6-7 уроков обеспечить выполнение учащимися всех этапов познавательной деятельности.



Рис. 2

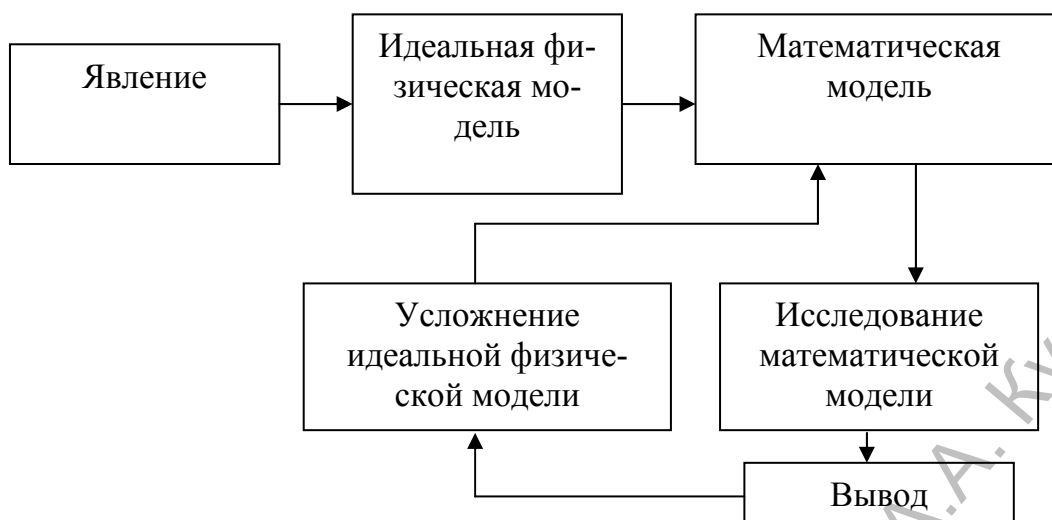


Рис. 3

Такие системы структурных элементов предметных знаний называют *модулями* содержания обучения (учебными модулями). Существуют различные подходы к трактовке понятия о модуле и технологии построения модуля как в плане структурирования содержания обучения, так и разработки форм и методов обучения.

Каждый учебный модуль содержит внутренние и внешние логические и содержательные связи, которые определяют место и роль каждого структурного элемента модуля, и учебного модуля как системного образования. Исходя из содержания рассматриваемых структурных элементов физических знаний, содержание обучения в рамках учебного модуля имеет смысл выстраивать в соответствии со следующей логической последовательностью, представленной на рисунке 4.

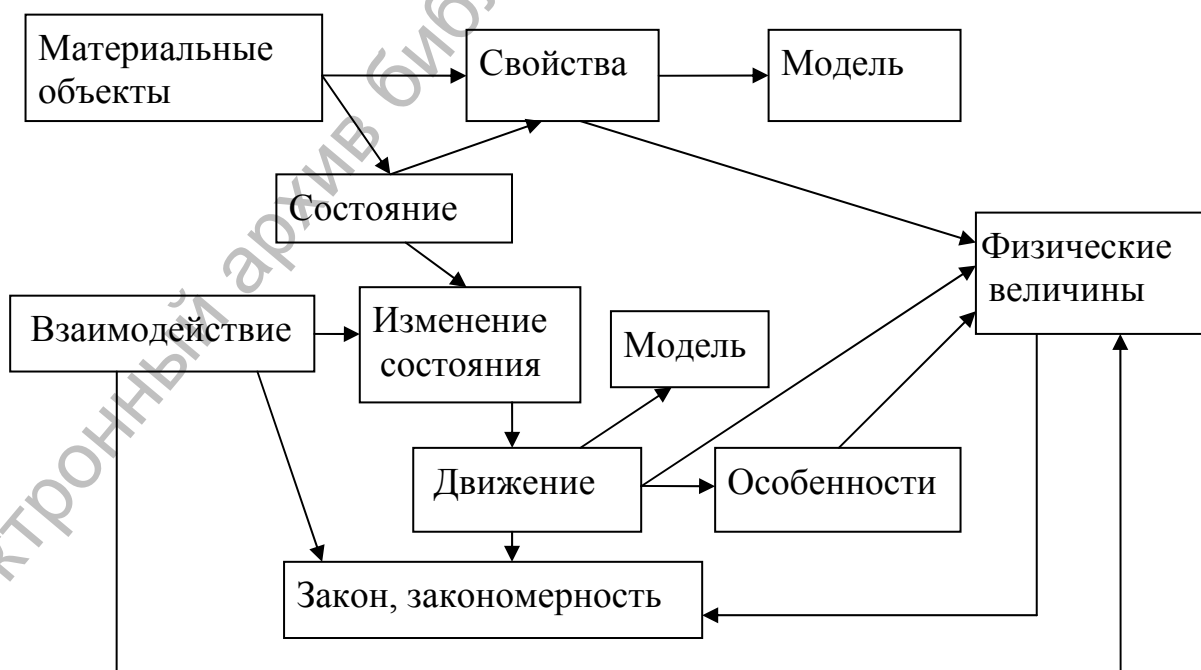


Рис. 4

Так, например, в содержании знаний по механике в школьном курсе физики можно выделить следующие учебные модули:

- ☑ Механическое движение тел. Система отсчета. Перемещение и скорость материальной точки.
- ☑ Равномерное прямолинейное движение.
- ☑ Равноускоренное прямолинейное движение.
- ☑ Равномерное движение материальной точки по окружности.
- ☑ Взаимодействие тел. Сила. Взаимосвязь между силой и ускорением.
- ☑ Всемирное тяготение. Сила тяжести. Движение тел под действием силы тяжести.
- ☑ Силы упругости. Силы трения.
- ☑ Импульс тела и системы тел. Импульс силы.
- ☑ Работа и мощность силы. Механическая энергия.

Модульное построение физических знаний позволяет:

- ☑ эффективно организовать планирование учащимися учебной познавательной деятельности;
- ☑ четко определить эталоны усвоения физических знаний;
- ☑ экономно использовать учебное время через концентрированное проведение основных этапов познавательной деятельности учащихся;
- ☑ применять современные образовательные технологии, базирующиеся на идее модульного построения содержания обучения;
- ☑ осознанно подбирать и применять различные дидактические средства обучения;
- ☑ проводить объективную оценку знаний и умений учащихся;
- ☑ эффективно организовать рефлексию познавательной деятельности учащихся.

Одним из основных принципов структурирования знаний по физике в средней общеобразовательной школе является принцип *фундаментализации*. Этот принцип рассматривается как один из ведущих принципов обновления образования в контексте современной образовательной парадигмы. Регулятивная функция данного принципа заключается в освобождении учащихся от обязательного изучения второстепенных фактов и положений и выдвигании на передний план обобщенных, фундаментальных знаний и универсальных способов деятельности, а также умений применять их для анализа и интерпретации частных фактов.

Перспективным и оптимальным путем реализации принципа фундаментализации является группирование физических знаний относительно основных содержательных линий, в качестве которых целесообразно рассматривать:

- ☑ свойства (классические, релятивистские, квантовые) пространства и времени;
- ☑ материя, ее виды (вещество и физическое поле) и свойства;
- ☑ физические виды движения материи (механическое, тепловое, электромагнитное и взаимное превращение частиц и поля);
- ☑ физические взаимодействия (гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое) и их особенности.

Выделение основных содержательных линий обучения физике в средней общеобразовательной школе позволяет разработать такую структуру физических учебных знаний, которая оказалась бы наиболее рациональной и экономной с точки зрения ее усвоения и хранения в долговременной памяти учащихся.

Разумно проведенное структурирование учебного материала обеспечивает учащимся:

- ☑ четкое понимание цели усвоения знаний;
- ☑ осознанный выбор ориентировочные основы деятельности;
- ☑ понимание логики построения предметных знаний;
- ☑ достаточно четкое представление о модели конечного продукта познавательной деятельности;
- ☑ возможность проведения рефлексии познавательной деятельности.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какой блок-схемой можно отразить структуру физических знаний?
2. Как определяют физическое понятие и чем оно характеризуется?
3. Какие выделяют группы физических понятий?
4. Как определяют физический закон?
5. Какова структура физической теории?
6. По какой схеме описывается содержание понятия о физической величине?
7. По какой схеме описывается содержание понятия о физическом процессе?
8. По какой схеме описывается содержание понятия о физическом приборе?
9. Какие методы применяются в физических исследованиях, и в чем заключается их содержание?
10. Что понимают под учебным модулем?
11. Какие содержательные линии выделяют при обучении физике учащихся?
12. В какой последовательности в содержании обучения выстраиваются структурные элементы физических знаний?

2. О СОДЕРЖАНИИ ПОНЯТИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

Всякая наука начинается с формирования основных понятий. Важный этап формирования понятий – их определение. *Дать определение понятию* – значит, подвести его под более общее понятие. Например, ускорение движения – это физическая векторная величина, характеризующая механическое движение и равная изменению вектора скорости тела за единицу времени. Здесь менее общее понятие ускорение определяется через более общее понятие – скорость.

В соответствии с правилами логики определения многих физических понятий даются через ближайшее родовое понятие и видовое отличие. Например, тепловой двигатель (определяемое понятие) – это двигатель (ближайшее родовое понятие), превращающий внутреннюю энергию в механическую работу (видовое отличие). По мере развития науки содержание понятий может уточняться, их смысл становится более четким.

Существует достаточно большая группа понятий, для которых нет более общих понятий. Эти понятия являются сложными философскими категориями. В представлениях о пространстве и времени имеется много неясного, порождающего многочисленные дискуссии ученых. Проблемы содержания этих понятий лежат на стыке философии, физики и математики, и их решение имеет важное методологическое значение для этих наук. В математике понятия такого типа называются неопределяемыми. При введении этих понятий используются их генетические определения.

К ним можно отнести такие понятия, как материя, пространство, время, движение, взаимодействие, состояние и некоторые другие. Наиболее фундаментальными понятиями физики являются *материя, пространство, время, движение* и *взаимодействие*. Поэтому очень важно, чтобы все, кто изучает физику, одинаково понимали такие понятия.

Пространство и время в материалистической философии и физике рассматриваются как формы существования материи. Окружающий человека материальный мир по своим пространственным параметрам может быть представлен как совокупность мегомира, макромира и микромира. Особые сложности возникают при анализе характера свойств времени и пространства в микромире и мегомире, мирах малого и большого.

2.1 ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В МАКРОМИРЕ

Все тела имеют некоторую протяженность и занимают некоторое определенное положение относительно друг друга. Эти наиболее общие

свойства материальных тел в результате многовековой практической деятельности людей отразились и закрепились в их сознании в виде понятия о пространстве. Математическое описание свойств пространства дается геометрией в виде системы геометрических понятий – прямая, плоскость, угол, различные геометрические фигуры и связи между ними.

Существуют различные геометрии. Жизненный опыт человека подтверждает геометрию Евклида. По современным научным данным известно, что геометрию Евклида можно применять на расстояниях от 10^{-16} м (это размеры атомного ядра и меньше) до 10^{26} м (размеры видимой части Вселенной). Понятие пространства – это отражение в сознании человека материальности мира. Без материальных тел это понятие бы не возникло.

Классическая механика исходит из следующих свойств пространства:

1. Пространство существует изначально и ничем в мире не порождается.
2. В пространстве “вмещаются” все тела природы, в нем происходят все явления, но оно не испытывает на себе никакого их воздействия.
3. Пространство однородно и изотропно.
4. Пространство не изменяется с течением времени.
5. Пространство безгранично.
6. Пространство трехмерно.
7. Пространство описывается геометрией Евклида.

Каждое из свойств пространства, используемых в классической механике, не противоречит ни повседневному опыту человека, ни экспериментам в классической механике.

Под *однородностью* пространства понимают эквивалентность (равнозначность) любых точек пространства (*симметрию* пространства по отношению к сдвигу начала координат). В пространстве нет таких точек, которые обладали бы какими-то особыми свойствами. Это проявляется в том, что явление, которое произошло в данной области пространства, может повториться без изменения в другом месте. Необходимо лишь, чтобы совокупность факторов, обуславливающих это явление, осталась той же.

Свойство однородности пространства позволяет сравнивать результаты одинаковых экспериментов, проведенных в разных лабораториях земного шара. Однородность пространства (симметрия пространства по отношению к сдвигу начала координат) приводит к закону сохранения импульса для замкнутой механической системы (системы тел): $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \text{const}$.

Для выполнения закона сохранения импульса необходимо, чтобы система была замкнутой. Если система тел помещена во внешнее силовое поле, то различные области пространства будут физически неэквивалентны. Однако если исследуемую систему расширить и включить в нее тела, поля которых воздействуют на систему, то импульс такой расширенной системы будет сохраняться.

Под *изотропностью* пространства понимают эквивалентность (равнозначность) любых направлений в пространстве (*симметрию* пространства по отношению к повороту осей координат относительно начала координат). В пространстве нет направлений, по которым пространство обладало бы какими-то особыми свойствами. Экспериментальную установку, прибор можно повернуть в любом направлении, и при этом все процессы будут протекать так же, как и до поворота. Но повернуто должно быть все, что определяет течение данного процесса.

Изотропность пространства (*симметрия* пространства по отношению к повороту осей координат) приводит к закону сохранения момента импульса для механической системы (системы тел): $\vec{L}_1 + \vec{L}_2 + \dots + \vec{L}_n = \text{const}$.

Этот закон выполняется только в замкнутых системах тел. Необходимость замкнутости системы для сохранения момента импульса объясняется теми же причинами, что и для сохранения импульса.

Дальнейшее развитие физики, в частности, создание теории относительности, привело к коренному пересмотру представлений ученых о пространстве.

Окружающий нас мир находится в процессе постоянных изменений. События следуют в определенной последовательности, каждое из них имеет определенную длительность. В мире происходит постоянное развитие. Эти общие свойства развивающегося, изменяющегося мира в сознании человека отразились в виде понятия времени.

Под *временем* понимается свойство материальных процессов иметь определенную длительность и следовать друг за другом в определенном порядке. Таким образом, время не может быть отделено от материи и ее движения. Свойства времени в классической механике определяются следующим образом:

1. Время существует изначально и ничем в мире не порождается.
2. Ходу времени подчиняются все процессы в природе, но они не оказывают никакого воздействия на ход времени.
3. Все моменты времени между собой равноправны и одинаковы – время однородно.
4. Ход времени всюду и везде в мире одинаков.
5. Ход времени одинаково равномерен в прошлом, настоящем и будущем.
6. Время простирается от настоящего неограниченно назад в прошлое и неограниченно вперед в будущее.
7. Время обладает одним измерением.
8. Промежутки времени отмеряются, складываются и вычитаются, как отрезки евклидовой прямой.

Все перечисленные свойства времени представляются так же естественными и очевидными. Каждое из свойств времени, используемых в классической механике, не противоречит ни повседневному опыту, ни экспериментам в классической механике.

Под *однородностью* времени понимают физическую эквивалентность (равноценность) разных его моментов (*симметрию* времени по отношению к выбору и сдвигу начала отсчета времени). Любые явления, происходящие в одних и тех же условиях, но в различные моменты времени, протекают совершенно одинаково. Благодаря однородности времени, можно сравнивать результаты экспериментов, которые были проведены в прошлом и в настоящем или будут проведены в будущем.

Однородность времени (симметрия по отношению к выбору начала отсчета времени) приводит к закону сохранения энергии ($W = \text{const.}$). Этот закон сохранения выполняется для систем, находящихся в неизменных по времени внешних условиях. Стационарность условий обеспечивается тем, что системы должны быть замкнуты и адиабатически изолированными, а внешние действия на них обусловлены только потенциальными полями. Выбор начала отсчета времени несущественен.

Дальнейшее развитие физики, в частности создание теории относительности, привело к коренному пересмотру представлений ученых о времени.

Трехмерность пространства и *одномерность* времени, их непрерывность, необратимость времени в теории относительности просто постулируются. Остается неясным, почему пространство и время обладают именно данными свойствами, а не какими-нибудь другими.

С современной естественнонаучной точки зрения макроскопическое пространство-время может рассматриваться как псевдоевклидово пространственно-временное многообразие специальной теории относительности с выделенной временной координатой. При этом теорией относительности концепция абсолютности пространства и времени Ньютона не опровергается полностью. Макроскопическое пространство-время рассматривается в достаточно малых областях, в которых в значительной степени не проявляется деформации пространственно-временного многообразия.

Но понятием макроскопического пространства-времени, несмотря на всю его важность, нельзя ограничиваться. Следует учитывать возможное существование и других пространственно-временных форм и отношений в микро- и мегамире.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какие свойства материальных тел характеризуют понятием о пространстве?
2. Какие свойства пространства рассматриваются в классической механике?

3. Что понимают под однородностью пространства?
4. Что понимают под изотропностью пространства?
5. Какие свойства физических процессов характеризуют понятием о времени?
6. Какие свойства времени рассматриваются в классической механике?
7. Что понимают под однородностью времени?

2.2 ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В МЕГАМИРЕ

Современное естествознание опровергает “универсальность” пространства и времени. Длительность процессов и протяженность объектов оказались зависимыми от скорости системы отсчета. Современная физическая теория пространства и времени – теория относительности А. Эйнштейна. В ней пространство и время взаимосвязаны, образуют единое пространственно-временной континуум.

В соответствии со специальной теорией относительности, протяженность и длительность изменяются в движущейся системе; одновременность событий также не абсолютна и зависит от выбора системы отсчета.

Если в движущейся со скоростью u системе отсчета K' в неподвижной точке x' произошло событие длительностью $\Delta t' = t'_2 - t'_1$ (t'_1 и t'_2 – моменты начала и конца события по часам в системе K'), то в неподвижной системе K по часам этой системы начало и окончание этого события наблюдается в моменты t_1 и t_2 , которые будут связаны с моментами t'_1 и t'_2 соотношениями:

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{и} \quad t_2 = \frac{t'_2 + \frac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где c – скорость света в вакууме, $\beta = u/c$. Отсюда длительность события в системе K будет равна: $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$.

Это значит, что событие в системе K представляется более длительным, чем в системе K' (эффект замедления времени), т.е. промежуток времени не является абсолютной величиной, а зависит от системы отсчета.

Так, элементарные частицы, возникающие в верхних слоях атмосферы и живущие по собственным часам стомиллионные доли секунды, по земным часам живут в тысячи раз большее время. Они успевают пролететь всю толщу земной атмосферы, тогда как в “собственной” системе отсчета, движущейся вместе с ними, расстояние до Земли всего составляет несколько метров.

Пусть в движущейся системе отсчета K' вдоль оси Ox' покоится отрезок длиной $l_0 = x_2' - x_1'$, где x_1' и x_2' – координаты начала и конца отрезка, отмеченного в системе K' в один и тот же момент времени t' . В системе K отрезок движется со скоростью u . В этой системе K в один и тот же момент времени t (по часам этой системы) положение концов движущегося отрезка x_1 и x_2 .

Тогда $l = x_2 - x_1$. С учетом того, что $x_1' = \frac{x_1 - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}}$; $x_2' = \frac{x_2 - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}}$.

$$x_2' - x_1' = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \text{ или } l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Таким образом, для наблюдателя в системе K длина движущегося отрезка в $\sqrt{1 - \beta^2}$ раз меньше его собственной длины, измеренной в системе, где отрезок покоится. Все отрезки укорачиваются в любой движущейся относительно них системе отсчета в направлении движения системы и тем значительнее, чем больше скорость, с которой движется эта система.

В соответствии с общей теорией относительности, пространство-время есть искривленное, неевклидовый континуум, свойства которого зависят от распределения тяготеющих масс.

Большую роль в создании общей теории относительности сыграли идея обусловленности свойств физического пространства и времени материей и принцип материального единства мира. А. Эйнштейн исходил из положения, что все свойства пространства и времени, какими бы фундаментальными они не были в конечном счете обусловлены материальными объектами и их взаимодействиями.

Когда физики говорят об интервалах времени и пространства, они имеют в виду числа, считанные с каких-либо физических часов и линеек. Например, роль часов может играть молекула с определенной частотой колебаний, количество которых между двумя событиями можно назвать «интервалом времени».

Теория относительности – это в основном теория метрических свойств пространства и времени, связанных с их количественным аспектом, с протяженностью и длительностью. Что же касается наиболее фундаментальных, топологических свойств, характеризующих пространство и время с качественной стороны, в аспекте их структурности и упорядоченности, то их природа и происхождение все еще остаются во многом загадочными.

Пространство-время в общей теории относительности – это четырехмерное псевдориманово многообразие, и все изменения метрики происходят в рамках данного многообразия.

В областях пространства с сильным полем тяготения скорость всех процессов замедляется, а длины тел сокращаются, пространство перестает

быть евклидовым и сильно искривляется. Наибольшее искривление происходит вблизи черных дыр. Замечательно, что гравитация действует на все физические системы одинаково: все часы показывают, что время замедляется, а все линейки – что пространство растягивается вблизи черной дыры. Это означает, что черная дыра искривляет вокруг себя геометрию пространства и времени. Вдали от черной дыры это искривление мало, а вблизи так велико, что лучи света могут двигаться вокруг нее по окружности. Вдали от черной дыры ее поле тяготения в точности описывается теорией Ньютона для тела такой же массы, но вблизи гравитация становится значительно сильнее, чем предсказывает теория Ньютона.

Черная дыра – область в пространстве, возникшая в результате полного гравитационного коллапса (очень быстрого сжатия) вещества, в которой гравитационное притяжение так велико, что ни вещество, ни свет, ни другие носители информации не могут ее покинуть. Поэтому внутренняя часть черной дыры причинно не связана с остальной Вселенной; происходящие внутри черной дыры физические процессы не могут влиять на процессы вне ее.

Черная дыра окружена поверхностью со свойством однонаправленной мембраны: вещество и излучение свободно падает сквозь нее в черную дыру, но оттуда ничто не может выйти. Эту поверхность называют «горизонтом событий».

Черная дыра всегда готова поглотить вещество или излучение, увеличив этим свою массу. Ее взаимодействие с окружающим миром определяется простым принципом Хокинга: площадь горизонта событий черной дыры никогда не уменьшается, если не учитывать квантового рождения частиц. Черные дыры могут испускать вещество и излучение, но заметно это будет лишь в том случае, если масса самой черной дыры относительно невелика. Такие черные дыры могли рождаться сразу после Большого взрыва, с которого началось расширение Вселенной. Массы этих первичных черных дыр должны быть не более 10^{15} г (как у небольшого астероида).

У сферической черной дыры массой M горизонт событий образует сферу с окружностью по экватору в 2π раз большей «гравитационного радиуса» черной дыры $R_G = 2GM/c^2$, где c – скорость света, а G – постоянная тяготения. Черная дыра с массой 3 солнечных имеет гравитационный радиус 8,8 км.

Существование черных дыр, предсказанное общей теорией относительности (теорией гравитации, предложенной Эйнштейном в 1915 году) и другими, более современными, теориями тяготения были математически обосновано Р. Оппенгеймером и Х. Снайдером в 1939 году. Но свойства пространства и времени в окрестности этих объектов оказались столь необычными, что астрономы и физики в течение 25 лет не относились к ним серьезно. Однако астрономические открытия в середине 1960-х годов

XX века заставили взглянуть на черные дыры как на физическую реальность. Их открытие и изучение может принципиально изменить наши представления о пространстве и времени.

Черные дыры могут образоваться в процессе эволюции звезд, если их масса больше массы Солнца в три и более раз.

Современная теория звездной эволюции и знания о звездном населении Галактики указывают, что среди 100 млрд ее звезд должно быть порядка 100 млн черных дыр, образовавшихся при коллапсе самых массивных звезд. К тому же черные дыры очень большой массы могут находиться в ядрах крупных галактик, в том числе и нашей.

Расчеты в рамках общей теории относительности А. Эйнштейна указывают лишь на возможность существования черных дыр, но отнюдь не доказывают их наличия в реальном мире. Открытие настоящих черных дыр стало важным шагом в развитии физики. Поиск изолированных черных дыр в космосе безнадежно труден: невозможно заметить маленький темный объект на фоне космической черноты. Но есть надежда обнаружить черную дыру по ее взаимодействию с окружающими астрономическими телами, по ее характерному влиянию на них.

Наиболее перспективным является поиск черной дыры в двойных системах, где она в паре с нормальной звездой может обращаться вокруг общего центра масс. По периодическому доплеровскому смещению линий в спектре звезды можно понять, что она обращается в паре с неким телом и даже оценить массу последнего. Если эта масса превышает 3 массы Солнца, а заметить излучение самого тела не удастся, то очень возможно, что это черная дыра.



Вопросы для самоконтроля:

1. По какой формуле устанавливается зависимость длительности события от скорости движущейся системы отсчета?
2. По какой формуле устанавливается зависимость длины отрезка от скорости движущейся системы отсчета?
3. Что понимают под черной дырой?
4. Как изменяется пространство и время вблизи черных дыр?
5. Каковы условия образования черных дыр?

2.3 ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В ФИЗИКЕ МИКРОМИРА

В связи с изучением закономерностей теплового излучения было выявлено противоречие между экспериментальными данными и теоретическим объяснением полученных результатов. Это повлекло за собой

рождение квантовой механики, которая положила начало неклассической физике, открыла дорогу к познанию микрокосмоса, овладению внутриатомной энергией, к пониманию процессов в недрах звезд и в «начале» Вселенной.

В конце XIX века в физике началось исследование распределения энергии излучения по всему спектру частот при различных температурах. При этом в основу исследования были положены законы классической физики (например, о равномерном распределении энергии по степеням свободы). Теоретические результаты исследования расходились с данными физического эксперимента. Это расхождение теории с экспериментом было названо *«ультрафиолетовой катастрофой»*.

Для устранения *«ультрафиолетовой катастрофы»* М. Планк в 1900 г. выдвинул гипотезу, коренным образом изменившую ряд основных положений классической физики. Он предположил, что энергия микроскопических систем (атомов, молекул и т.д.) может принимать не любые непрерывные значения, а только дискретные значения, кратные минимальной энергии $E = h\nu = \hbar\omega$.

При этом возник вопрос о сущности и структуре атома. Было предложено несколько противоречащих друг другу моделей. Выход был найден Н. Бором путем синтеза планетарной модели атома Э. Резерфорда и квантовой гипотезы. Он предположил, что атом может иметь ряд стационарных состояний при переходе, в которые поглощается или излучается квант энергии. В самом же стационарном состоянии атом не излучает.

Однако теория Н. Бора не объясняла интенсивности и поляризации излучения. Частично с этим удалось справиться с помощью принципа соответствия Н. Бора. Этот принцип сводится к тому, что выводы и результаты квантовой механики при больших квантовых числах должны соответствовать классическим результатам.

Принцип соответствия сыграл важную роль в исследованиях Л. де Бройля. Он предположил, что не только световые волны обладают дискретной структурой, но и элементарным частицам материи присущ волновой характер. Возникла проблема создания волновой квантовой механики, которая в 1926 году была решена Э. Шредингером, создавшим волновое уравнение, носящее его имя.

Н. Бор обосновал истинный смысл волнового уравнения Э Шредингера. Он показал, что это уравнение описывает амплитуду вероятности нахождения частицы в данной области пространства.

В 1925 году В. Гейзенбергом была разработана квантовая механика. Формальные правила этой теории основаны на соотношении неопреде-

ленностей В. Гейзенберга: чем больше неопределенность пространственной координаты, тем меньше неопределенность значения импульса частицы ($\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$). Аналогичное соотношение имеет место для времени и энергии частицы ($\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$).

В релятивистской квантовой теории координата не может быть точно измерена даже независимо от измерения импульса. Своеобразие свойств микрочастиц проявляется в том, что не для всех переменных получаются при измерениях определенные значения. Так, например, электрон (и любая другая микрочастица) не может иметь одновременно точных значений координаты x и компоненты импульса p_x .

В ньютоновской механике теоретическое и эмпирическое пространство и время во многом совпадали. С развитием физики это совпадение нарушается. Из этого можно сделать вывод, что пространство и время классической физики являются эмпирической структурой квантовой механики.

Эмпирическая структура физической теории заведомо макроскопична. Теоретическая структура при описании микромира выступает как пространство и время. Пространство и время можно использовать при развитии физических теорий, описывающих другие уровни строения материи, но это сопряжено с неоправданным усложнением теории, и поэтому от них отказываются. Речь идет о макроскопичности пространства и времени, которые выступают в качестве теоретических структур физических теорий.

Пространство и время – категории современной физики, которые являются специфическими метрическими структурами сосуществования данных явлений и смены конкретных состояний, что предполагает возможность различия двух соседних точек и двух последующих моментов.

В современной микрофизике подвергается сомнению универсальность пространственно-временного описания мира. Понимание пространства и времени в микромире носит двойственный характер. С одной стороны, в квантовой физике используются классические представления о времени и пространстве. При малых скоростях микрообъектов по сравнению со скоростью света, применяется обычное время ньютоновской механики.

Если эти скорости сравнимы со скоростью света, используется пространство-время специальной теории относительности. Но с другой стороны квантовые закономерности фактически опровергают классические пространственно-временные представления, ограничивают область их применения.

В специальной теории относительности физике была поставлена важная проблема о необходимости пересмотра пространственных пред-

ставлений лапласовского детерминизма классической физики. Они оказались лишь приближенными понятиями и основывались на слишком сильных идеализациях. Квантовая физика потребовала более адекватных форм упорядоченности событий, в которых учитывалось бы существование принципиальной неопределенности в состоянии объекта, наличие черт целостности и индивидуальности в микромире, что и выразалось в понятии универсального кванта действия h .

Квантовая механика была положена в основу бурно развивающейся физики элементарных частиц. В физике элементарных частиц представления о пространстве и времени столкнулись с еще большими трудностями. Оказалось, что микромир является многоуровневой системой, на каждом уровне которой господствуют специфические виды взаимодействий и специфические свойства пространственно-временных отношений. Область доступных в эксперименте микроскопических пространственно-временных интервалов условно делится на четыре уровня:

- 1) уровень молекулярно-атомных явлений,
- 2) уровень релятивистских квантово-электродинамических процессов,
- 3) уровень элементарных частиц,
- 4) уровень ультрамалых масштабов, где пространственно - временные отношения оказываются несколько иными, чем в классической физике макромира. В этой области по-иному следует понимать природу вакуума.

Продвигаясь вглубь материи, исследовались физические процессы в области субатомных пространственно-временных отношений. На этом уровне структурной организации материи определяющую роль играют сильные взаимодействия элементарных частиц. Здесь иные пространственно-временные понятия. Так, специфике микромира не соответствуют обыденные представления о соотношении части и целого. Еще более радикальных изменений пространственно-временных представлений требует переход к исследованию процессов, характерных для слабых взаимодействий. Поэтому говорят о нарушении пространственной и временной четности, т.е. правое и левое пространственные направления оказываются неэквивалентными.

В этих условиях были предприняты различные попытки принципиально нового истолкования пространства и времени. Одно направление связано с изменением представлений о прерывности и непрерывности пространства и времени, а второе – с гипотезой о возможной макроскопической природе пространства и времени.

После создания теории относительности и квантовой механики ученые попытались объединить эти две фундаментальные теории. Первым достижением на этом пути явилось релятивистское волновое уравнение для

электрона. Был получен неожиданный вывод о существовании антипода электрона – частицы с противоположным электрическим зарядом. В настоящее время известно, что каждой частице в природе соответствует античастица, это обусловлено фундаментальными положениями современной теории и связано с кардинальными свойствами пространства и времени (четность пространства, и т.д.).

Исторически первой квантовой теорией поля была квантовая электродинамика, включающая в себя описание взаимодействий электронов, позитронов, мюонов и фотонов. В ней функционируют заимствованные понятия классической физики, основанные на концепции пространственно-временной непрерывности: точечность заряда, локальность поля, точечность взаимодействия и т. д. Наличие этих понятий влечет за собой существенные трудности, связанные с бесконечными значениями некоторых величин (масса, собственная энергия электрона и т.д.).

Эти трудности ученые пытались преодолеть путем введения в теорию гипотезы о дискретности пространства и времени. Такой подход намечает единственный выход из неопределенности бесконечности, т.к. содержит фундаментальную длину – основу атомистического пространства.

Позже была построена обобщенная квантовая электродинамика, которая также является локальной теорией, описывающей точечные взаимодействия точечных частиц, что приводит к существенным трудностям.

Специфика объектов квантовой электродинамики является веским аргументом в пользу концепции дискретности пространства – времени. В ее основе лежит идея о том, что масса и заряд электрона находятся в разных физических полях и они отличны от массы и заряда идеализированного (изолированного от мира) электрона. Разность между массами оказывается бесконечной. При оперировании этими бесконечностями их можно выразить заряд и массу реального электрона через физические константы. Это достигается путем перенормировки теории.

Что касается теории сильных взаимодействий, то там процедуру перенормировки использовать не удастся. В связи с этим в физике микромира широкое развитие получило направление, связанное с пересмотром концепции локальности. Отказ от точечности взаимодействия микрообъектов может осуществляться двумя методами. При первом исходят из положения, что понятие локального взаимодействия лишено смысла. Второй основан на отрицании понятия точечной координаты пространства – времени, что приводит к теории квантования пространства – времени.

Отказ от представлений о точечности взаимодействия влечет за собой изменение наших представлений о структуре пространства – времени и

принципе причинности, которые тесно взаимосвязаны. По мнению некоторых физиков, в микромире теряют смысл обычные временные отношения «раньше» и «позже». В области нелокального взаимодействия события связаны в некий «комок», в котором они взаимно обуславливают друг друга, но не следуют одно за другим.

В работах В. Гейзенберга и в современных нелокальных и нелинейных теориях в качестве принципа провозглашается нарушение причинности в микромире. При этом отмечается, что разграничение пространства – времени на «малые» области, где причинность нарушена, и на большие, где она выполнена, невозможно без появления в нелокальной теории новой константы, имеющей размерность длины (элементарной длины). С «атомом» пространства связан и элементарный момент времени (хронон). Именно в пространственно – временной области, соответствующей элементарной длине и хронону протекает процесс взаимодействия частиц.

Теория дискретного пространства – времени продолжает развиваться. Открытым остается вопрос о внутренней структуре «атомов» пространства и времени. Существует ли пространство и время в «атомах» пространства и времени? Это одна из версий гипотезы о возможной макроскопичности пространства и времени.

В современной физике существует гипотеза о макроскопической природе свойств и структуры пространства и времени, т.е. о том, что их свойств и структуры вообще возможно нет в микромире. Что касается сфер приложения этой гипотезы, то ее сторонники разошлись во мнениях: одни считают, что гипотеза имеет отношение лишь к теоретическому моделированию объективной реальности в квантовой физике, другие расширили ее до уровня философского положения о неуниверсальности пространства и времени как форм существования движущейся материи.

Свойства «соседства» и «следования» являются конкретными и специфическими свойствами структуры, которые могут существовать далеко не везде. С этой точки зрения можно даже говорить о «внепространственных» и «вневременных» формах существования материи.

Если пространство и время оказываются неуниверсальными, то какой смысл нужно вкладывать в них сейчас, чтобы они по-прежнему оставались универсальными. С этим вопросом связано возникновение и развитие различных модификаций гипотезы о макроскопической природе пространства и времени.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какая физическая теория описывает свойства микрообъектов?
2. Какой физический смысл соотношений неопределенностей Гейзенберга?

3. В чем состоит двойственный характер в понимании пространства и времени в микромире?

4. Как в физике элементарных частиц объясняется проявление различных свойств пространства и времени?

5. Какие свойства пространства и времени рассматриваются в квантовой электродинамике?

6. Какие свойства пространства и времени рассматриваются в современной физике микромира?

2.4 ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Понятия о пространстве и времени применяются как на первой, так и на второй ступенях изучения физики в средней общеобразовательной школе. Эти понятия используются в качестве исходных (базовых) понятий при введении понятия о механическом движении. В программе же по физике для учреждений, обеспечивающих получение общего среднего образования с 11-летним сроком обучения, в явном виде не значатся понятия о пространстве и времени.

Составители программы могли исходить из того, что учащиеся 6-го класса имеют определенное представление о пространстве и времени на феноменологическом уровне абстракции. На основе имеющегося у них жизненного и учебного опыта по изучению учебного предмета «Человек и мир» учащиеся знают, что:

1. Пространство “вмещает” все тела природы, в нем происходят все явления.

2. Пространство не изменяется с течением времени.

3. Пространство безгранично.

4. Каждое тело в природе занимает часть пространства, и это его свойство характеризуется объемом.

5. Объем нескольких тел равен сумме объемов отдельных тел.

6. Ходу времени подчиняются все тела природы, все физические явления.

7. Ход времени всюду и везде в мире одинаков.

8. Время простирается из неограниченно прошлого в настоящее, от настоящего в неограниченное будущее.

9. Промежутки времени измеряются, складываются и вычитаются.

Актуализировать эти знания учащихся необходимо в рамках содержания обучения физике в 6-м классе 11-летней общеобразовательной школы при рассмотрении вопроса: физические тела, физические явления, физические величины, физические законы.

Расширить классическое содержание понятий о пространстве и времени у учащихся необходимо перед началом изучения темы «Основы кинематики». Это позволит учителю создать условия для осознанного восприятия учащимися основных понятий кинематики.

Релятивистское содержание понятия о пространстве-времени осваивается учащимися на второй ступени изучения физики в теме «Основы специальной теории относительности».

Квантовое содержание понятия о пространстве-времени учащимися в курсе физики средней школы не осваивается.



Вопросы для самоконтроля:

1. В какой мере понятия о пространстве и времени включены в содержание программы по физике для средних общеобразовательных учреждений?

2. Какие свойства пространства и времени известны учащимся 6-го класса основе имеющегося у них жизненного и учебного опыта?

3. В каком классе важно актуализировать классические свойства пространства и времени?

4. В каком классе и при изучении какой темы по физике у учащихся формируется релятивистское содержание понятий о пространстве и времени?

3. СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ И ЕЕ СВОЙСТВА В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

В естествознании рассматривается два вида материи: *вещество и поле*.

Под веществом в физике понимают структурную форму материи, состоящую из частиц, собственная масса покоя которых отлична от нуля.

Вещество на макроуровне воспринимается человеком непосредственно органами чувств, а физическое поле по действию на индикаторы. Физические поля безграничны и взаимопроницаемы.

3.1 ВЕЩЕСТВО В МАКРОМИРЕ. СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

В макромире вещество представляется человеку через вещественные образования, которые в физике называют физическими телами. Вещество в зависимости от внешних условий может находиться в одном из трех состояний: *твердом, жидком и газообразном*. Параметрами внешних условий существования вещества рассматриваются температура T (вещества и окружающей среды) и давление p окружающей среды.

К четвертому (особому) состоянию вещества в физике относят его *плазменное* состояние, представляющее собой ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных электрических зарядов практически одинаковы, а концентрация частиц сравнительно велика.

Плазма – это наиболее распространенное состояние вещества в природе, естественное состояние вещества при очень высокой температуре. Солнце и звезды можно рассматривать как гигантские сгустки горячей плазмы. Внешняя поверхность земной атмосферы покрыта плазменной оболочкой – ионосферой. За пределами ионосферы в околоземном пространстве находятся так называемые радиационные пояса, которые представляют собой своеобразные плазменные образования.


В каждом из этих состояний вещество обладает определенными механическими, термодинамическими, электрическими и оптическими свойствами, характеризующимися физическими величинами (таблица 5):

Таблица 5

Свойство	Физическая величина (название, символ, единица в СИ)	Состояние вещества		
		твердое	жидкое	газообразное
Сохранение формы		+	-	-
Сохранение объема	Объем, V , $[V] = 1 \text{ м}^3$	+	+	-
Инертность	Масса, m , $[m] = 1 \text{ кг}$	+	+	+
	Молярная масса, M , $[M] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	+	+	+
Распределение вещества в пространстве	Объемная плотность вещества, ρ , $[\rho] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	+	+	+
Распределение вещества вдоль выбранного направления в пространстве	Линейная плотность вещества, ρ_l , $[\rho_l] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$	+	-	-
Распределение вещества по поверхности	Поверхностная плотность вещества, ρ_s , $[\rho_s] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$	+	+	-
Упругость	Модуль Юнга (модуль упругости), E , $[E] = 1 \text{ Па}$	+	-	-
Прочность	Предел прочности, $\sigma_{пр}$, $[\sigma_{пр}] = 1 \text{ Па}$	+	-	-
Различие скорости разных слоев газа при ламинарном его движении	Динамическая вязкость среды, η , $[\eta] = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$	-	+	+
	Кинематическая вязкость, ν , $[\nu] = 1 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	-	+	+

Свойство	Физическая величина (название, символ, единица в СИ)	Состояние вещества		
		твердое	жидкое	газообразное
Особенность строения	Внутренняя энергия, U , $[U]=1\text{Дж}$	+	+	+
Поверхностное натяжение	Коэффициент поверхностного натяжения, σ , $[\sigma]=1\frac{\text{Н}}{\text{м}}=1\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$	-	+	-
Смачивание	Краевой угол, θ , $[\theta]=1^\circ$	-	+	-
Диффузия	Коэффициент диффузии, D , $[D]=1\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	-	+	+
Тепловое расширение	Температурный коэффициент линейного расширения, α_l , $[\alpha_l]=1\text{К}^{-1}$.	+	-	-
	Температурный коэффициент объемного расширения, α_v , $[\alpha_v]=1\text{К}^{-1}$	-	+	-
Теплопередача	Удельная теплоемкость, c , $[c]=1\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.	+	+	-
	Удельная теплоемкость при постоянном давлении, c_p , $[c_p]=1\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.	-	-	+
	Удельная теплоемкость при постоянном объеме, c_v , $[c_v]=1\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.	-	-	+
	Теплопроводность вещества, λ , $[\lambda]=1\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$	+	+	+
Противодействие перемещению в веществе «свободных» заряженных частиц	Удельное электрическое сопротивление, ρ , $[\rho]=1\text{Ом}\cdot\text{м}$.	+	+	+
	Удельная электрическая проводимость, γ , $[\gamma]=1\frac{\text{А}}{\text{В}\cdot\text{м}}$	+	+	+
Влияние вещества на внешнее электрическое поле	Диэлектрическая проницаемость вещества, ϵ	+	+	+
Накопление электрического заряда уединенным проводником и их системами	Емкость, C , $[C]=1\text{Ф}$	+	-	-

Свойство	Физическая величина (название, символ, единица в СИ)	Состояние вещества		
		твердое	жидкое	газообразное
Влияние вещества на внешнее магнитное поле	Магнитная проницаемость вещества, μ	+	+	-
Намагничивание	Магнитная восприимчивость, χ	+	+	-
Влияние вещества на световое излучение	Показатель преломления, n . Коэффициент поглощения света, α , $[\alpha] = 1 \frac{1}{м}$ Коэффициент рассеяния света, α_1 , $[\alpha_1] = 1 \frac{1}{м}$	+	+	+

 Вопросы для самоконтроля:

1. В каких состояниях может находиться вещество?
2. Какими механическими свойствами обладает вещество в твердом состоянии?
3. Какими термодинамическими свойствами обладает вещество в твердом состоянии?
4. Какими электрическими свойствами обладает вещество в твердом состоянии?
5. Какими оптическими свойствами обладает вещество в твердом состоянии?
6. Какими механическими свойствами обладает вещество в жидком состоянии?
7. Какими термодинамическими свойствами обладает вещество в жидком состоянии?
8. Какими электрическими свойствами обладает вещество в жидком состоянии?
9. Какими оптическими свойствами обладает вещество в жидком состоянии?
10. Какими свойствами обладает вещество в газообразном состоянии?

3.2 СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА. МИКРОЧАСТИЦЫ И ИХ СВОЙСТВА

Современная физика достигла больших успехов в изучении строения вещества, основанном на идеях дискретности и бесконечности познания.

Идея дискретности строения вещества возникла еще в древности и развивалась многими философами и учеными. В процессе развития идеи дискретности вещества было введено понятие об *элементарной частице*. Под элементарной частицей понимают частицу, структура которой на данном этапе познания неизвестна.

На различных этапах продвижения “в глубь” вещества элементарными назывались различные частицы. Сначала элементарными считались сравнительно крупные частицы вещества, затем по мере накопления знаний выяснялась сложность этих частиц, и тогда представление об элементарности переносилось на составляющие их части. Этот путь познания строения вещества можно представить как путь через последовательные уровни элементарности.

В микромире выделяют три уровня элементарности, различающиеся характерными масштабами R и энергиями E . Первый из них – *молекулярно-атомный* уровень, для которого $R \sim 10^{-8} \div 10^{-10}$ м, $E \sim 1 \div 10$ эВ.

Молекула – это наименьшая часть вещества, обладающая всеми его химическими свойствами. В этом смысле молекулу можно называть простейшей неделимой частицей вещества. Молекулы сложны и состоят из атомов.

Слово “*атом*” по-гречески означает “неделимый”, и это название полностью оправдывается в отношении атома как носителя химических свойств элементов. Образование молекул из атомов изучает химия. По законам химии можно установить, какие молекулы могут образовываться из определенных атомов. Для этого не нужно знать строения атомов, достаточно знать только их химические свойства. Свойства атомов в химии считаются заданными.

Для характеристики масс атомов и молекул применяются величины, называемые относительной атомной массой и относительной молекулярной массой. *Относительной атомной массой (A_r) химического элемента называется отношение массы атома этого элемента к $1/12$ массы атома изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$. Относительной молекулярной массой (M_r) вещества называется отношение массы молекулы этого вещества к $1/12$ массы атома изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$: $A_r = \frac{m_a}{\frac{1}{12}m_c}$; $M_r = \frac{m_m}{\frac{1}{12}m_c}$. Это безразмерная величина.*

В 1971 г. Международная конференция по мерам и весам приняла 7-ю единицу – *количество вещества (ν)*. Единица количества вещества $[\nu] = 1$ моль.

Моль – это количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде $^{12}_6\text{C}$ массой 0,012 кг.

Массу моля обозначают через M . Единица измерения молярной массы в СИ $[M] = 1 \text{ кг/моль}$. Моль любого вещества содержат одно и то же число молекул (число Авогадро): $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$.

Зная число Авогадро, можно найти единичную массу, т.е. массу 1/12 массы $^{12}_6\text{C}$: $m_{\text{ед}} = \frac{10^{-3}}{N_A} = \frac{10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} \text{ кг} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Массу любого атома или молекулы можно вычислить следующим образом: $m_a = 1,66 \cdot 10^{-27} A_r (\text{кг})$, $m_m = 1,66 \cdot 10^{-27} M_r (\text{кг})$. Молекулы веществ имеют размеры порядка 10^{-10} м .

Составные части атома электрон, и ядро являются элементарными частицами на втором, ядерном, ($R \sim 10^{-14} \div 10^{-15} \text{ м}$, $E \sim 10^6 \div 10^8 \text{ эВ}$) уровне элементарности.

На третьем уровне элементарности располагаются микрочастицы, не являющиеся молекулами, атомами и ядрами. В настоящее время этот уровень элементарности разделен на два подуровня: подуровень адронов и подуровень фундаментальных частиц. К адронам относят составные элементарные частицы, которым присуще сильное взаимодействие (мезоны, барионы, резонансы).

Для описания свойств отдельных элементарных частиц введен целый ряд физических величин:

- ☑ масса (m , единица измерения – МэВ, ГэВ, в соответствии с соотношением Эйнштейна); спектр масс известных элементарных частиц простирается от 0 до 90 ГэВ; по этой физической величине первоначально проводилась классификация элементарных частиц в соответствии с которой выделялись лептоны («легкие»), мезоны («средние»), барионы («тяжелые»), гипероны («гипер» – «сверх»);
- ☑ среднее время жизни (τ , с); служит мерой стабильности частицы; значения τ варьируются в чрезвычайно широком диапазоне (от 10^{-24} с до ∞);
- ☑ спин J – собственный момент импульса частицы, измеряется в единицах \hbar , принимает целые и полуцелые значения; элементарная частица со спином J имеет $2J + 1$ спиновых состояний, отличающихся проекцией J ;
- ☑ магнитный момент (μ) – максимальное значение проекции на ось вектора собственного магнитного момента \vec{p}_m частицы;
- ☑ заряд:
 - электрический, q ; измеряется в единицах элементарного заряда e ; для всех частиц, существующих в свободном состоянии q принимает лишь целочисленные значения $q = 0, \pm 1$; для некоторых резонансов $q = \dots \pm 2$;

– барионный, B , $B = \pm 1$ для барионов, $B = 0$ для всех других частиц;
 – лептонный, L , $L = \pm 1$ для лептонов, $L = 0$ для всех других частиц.
 Классификация элементарных частиц приведена в таблице 6.

Таблица 6

Наименование частиц		Символ		Масса в электронных массах	Электрический заряд	Время жизни, с	
		Частицы	Античастицы				
Фотон		γ	γ	0	0	Стабилен	
Лептоны	Нейтрино электронное	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	Стабильно	
	Нейтрино мюонное	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	Стабильно	
	Тау-нейтрино	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	Стабильно	
	Электрон	e^-	e^+	1	-1	Стабилен	
	Мюон	μ^-	μ^+	207	-1	$2,2 \cdot 10^{-6}$	
	Тау-лептон	τ^-	τ^+	3492	-1	$1,46 \cdot 10^{-12}$	
Мезоны	Пи-мезоны (пионы)	π^0	π^0	264,1	0	$1,83 \cdot 10^{-16}$	
		π^+	π^-	273,1	1	$2,6 \cdot 10^{-8}$	
	Ка-мезоны (каоны)	K^+	K^-	966,4	1	$1,2 \cdot 10^{-8}$	
		K^0	\bar{K}^0	974,1	0	$K_S^0 - 8,9 \cdot 10^{-11}$ $K_L^0 - 5,2 \cdot 10^{-3}$	
Эта-нуль-мезон		η^0	η^0	1074	0	$3,4 \cdot 10^{-19}$	
Барионы	Нуклоны	Протон	p	\bar{p}	1836,1	1	Стабилен
		Нейтрон	n	\bar{n}	1838,6	0	10^3
	Гипероны	Гиперон-лямбда	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2183,1	0	$2,63 \cdot 10^{-10}$
		Гиперон-сигма	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	2327,6	1	$8 \cdot 10^{-11}$
			Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	2333,6	0	$5,8 \cdot 10^{-20}$
			Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	2343,1	-1	$1,48 \cdot 10^{-10}$
	Гиперон-кси	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	2572,8	0	$2,9 \cdot 10^{-10}$	
		Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	2585,6	-1	$1,64 \cdot 10^{-10}$	
Омега-минус-гиперон		Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	3273	-1	$8,2 \cdot 10^{-11}$	

К настоящему времени установлено, что у каждой элементарной частицы имеется античастица. Масса любой античастицы в точности равна массе соответствующей частицы, а электрический заряд (для заряженных частиц) равен по абсолютному значению заряду частицы и противоположен ему по знаку. Частица и античастица у такой незаряженной частицы

как фотон, по физическим свойствам совершенно неразличимы и поэтому считаются одной и той же частицей.

Своеобразие микрочастиц, обладающих некоторой внутренней структурой, определяемой взаимодействием, состоит в неоднозначности их размеров. Для выявления структуры и размеров микрочастиц применяются электроны с высокими энергиями. Из соотношений неопределенностей следует, что для выявления деталей структуры с размерами порядка Δr нужны зондирующие частицы с импульсом p , не меньшими $p \sim \frac{\hbar}{\Delta r}$. Максимальные доступные в лабораторных условиях энергии составляют по порядку величины 1000 ГэВ, чему соответствуют минимальные расстояния $R \sim 10^{-19}$ м.

Фундаментальными называют несоставные элементарные частицы. Список таких “первоначал” состоит из фундаментальных бозонов и фундаментальных фермионов.

Фундаментальные бозоны – “переносчики” основных взаимодействий. Фундаментальными фермионами являются лептоны и кварки. Классификация фундаментальных элементарных частиц приведена на рисунке 5.

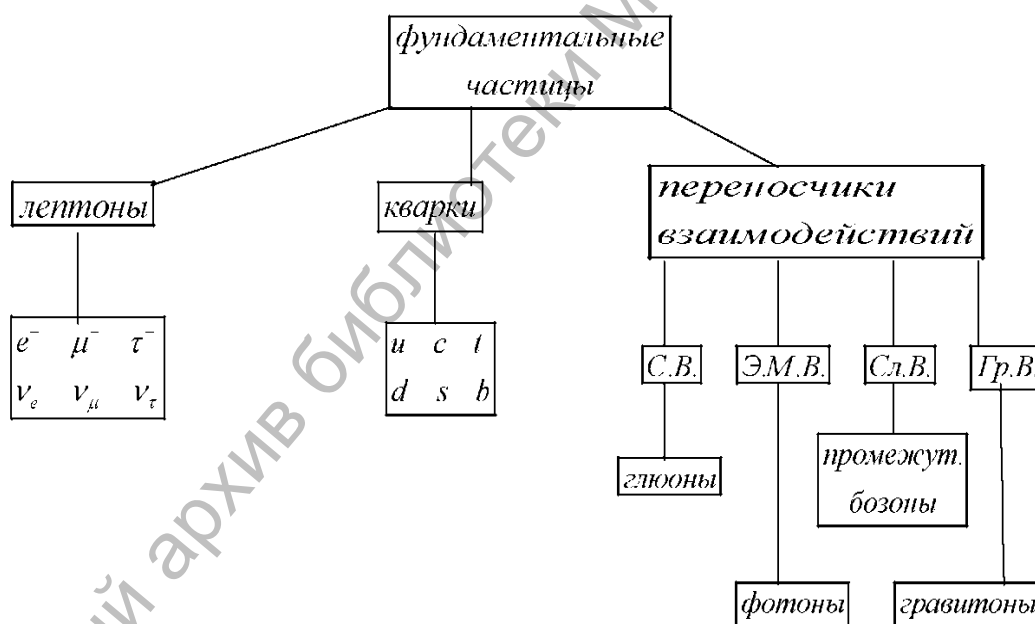


Рис. 5

Считается, что все адроны состоят из кварков – дробнозаряженных фундаментальных частиц. Различают шесть сортов (“ароматов”) кварков и шесть сортов лептонов.

Значение характеристик кварков представлено в таблице 7.

Согласно современным представлениям кварки внутри адрона взаимодействуют за счет виртуального обмена особыми частицами - глюонами (от англ. *glue* – клей). Общее число глюонов равно 8. Они являются переносчи-

ками цвета, так что кварки постоянно обмениваются цветом, но адроны в целом всегда остаются бесцветными.

Примерами построения элементарных частиц из кварков являются: протон: ${}^1p^1 = u-u-d$, нейтрон: ${}^0n^1 = u-d-d$.

Своеобразной характеристикой странных частиц является “странность”, а очарованных частиц – “очарование”.

Введение зарядов, характеризующих свойства элементарных частиц, позволяет с некоторых общих позиций различать частицы и античастицы, которые обозначаются одним символом, но с добавлением тильды над ним. У любой частицы масса, время жизни и спин такие же, как у ее античастицы, а знаки всех зарядов и странности противоположные. Таким образом, при заданных энергии, импульсе и моменте импульса всегда возможны два симметричных зарядовых состояния – *частица и античастица*.

Таблица 7

Символ кварка	Электрический заряд (q)	Спин (I)	Барионный заряд (B)	Странность (S)	Очарование (шарм) (c)	Прелесть (красота) (s)	Правдивость (истинность)	Масса, m (МэВ)
u	+2/3	1/2	1/3	0	0	0	0	4
d	-1/3	1/2	1/3	0	0	0	0	8
s	-1/3	1/2	1/3	-1	0	0	0	150
c	+2/3	1/2	1/3	0	+1	0	0	1350
s	-1/3	1/2	1/3	0	0	+1	0	4700
t	+2/3	1/2	1/3	0	0	0	+1	Более $2,2 \times 10^3$

Общее число известных элементарных частиц вместе с античастицами составляет более 400. Некоторые из них являются *стабильными* или *квазистабильными* (электрон, протон, нейтрон, γ фотон, электронное нейтрино). Все остальные элементарные частицы крайне нестабильны и образуются во вторичном космическом излучении или лабораторных условиях при столкновении быстрых стабильных частиц.

Квазистабильные частицы распределяют по трем семействам. Первое включает фотон. Второе семейство образуют лептоны (лепта – мелкая монета, электрон, мюон, электронное нейтрино, мюонное нейтрино). Третье, наиболее многочисленное семейство, было названо адронами (адрон – массивный, тяжелый, мезоны, барионы).

Взаимопревращаемость элементарных частиц – одно из наиболее фундаментальных их свойств. Образующиеся частицы не входят в состав исходных частиц, а возникают непосредственно в процессах их столкновений или распадов. В процессах взаимопревращений открывают ранее неизвестные частицы. Для этого сталкивают друг с другом известные стабильные

частицы с как можно большими энергиями, а затем исследуют продукты протекающих реакций и те фракции, на которые распались образовавшиеся частицы.

Взаимодействия между частицами делятся на три большие группы:

- ☑ при упругом рассеянии частицы не претерпевают превращений, а просто изменяют состояние своего движения;
- ☑ в неупругих взаимодействиях сталкивающиеся частицы превращаются в частицы других сортов; эти процессы подразделяются на экзотермические ($Q > 0$) и эндотермические ($Q < 0$);
- ☑ возникшие при неупругих взаимодействиях частицы являются нестабильными и претерпевают распады.


В процессе многолетних экспериментов накоплены обширные сведения о разнообразных реакциях с элементарными частицами. Анализ этих реакций и привел к введению новых сохраняющихся величин и законов сохранения. Это скалярные аддитивные величины, складывающиеся алгебраически при любых реакциях с частицами; при объединении последних в системы, распадах и рожденьях.

Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса и специфических зарядов задают условия, в которых и происходят различные процессы с элементарными частицами. С одной стороны, процесс возможен лишь при выполнении законов сохранения, с другой, – если законы выполнены, то процесс должен иметь место. Это своеобразный принцип микромира: все, что не запрещено законами сохранения, происходит. Принцип – обусловлен вероятностным характером микропроцессов как квантовых переходов, их массовостью.

При познании строения вещества на микроуровне претерпели радикальные изменения представления о свойствах элементарных частиц. Закономерности микромира оказались совершенно отличными от законов макромира. В классической физике предполагалось, что законы движения элементарных частиц таковы же, что и законы движения макротел.

Квантовая физика выявила, что электроны и другие микрочастицы обладают как корпускулярными, так и волновыми свойствами, которые считались несовместимыми в макрофизике. Таким образом, элементарные частицы представляют собой микрообъекты, подчиняющиеся законам квантовой механики.

Несмотря на отличие квантово-механических законов от классических и свойств элементарных частиц от свойств макротел, соотношение между понятиями элементарной и сложной частицы осталось прежним. И в ньютоновской механике, и в квантовой механике сложная частица состоит из стабильных элементарных частиц, причем энергия связи частиц значительно меньше их энергии покоя.

 *Вопросы для самоконтроля:*

1. Что понимают под элементарной частицей?
2. Какие элементарные частицы называют античастицами?
3. Какие уровни элементарности выделяют в микромире?
4. Какие физические величины введены для описания свойств отдельных элементарных частиц?
5. Какие элементарные частицы называют квазистабильными, и какие семейства этих частиц выделяют?
6. На какие группы подразделяются элементарные частицы по массе?
7. В чем заключается взаимопревращаемость элементарных частиц?
8. Какие процессы обуславливают взаимодействия частиц?
9. В соответствии с какими законами сохранения происходят процессы с элементарными частицами?
10. Что понимают под кварками?

3.3 ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

Гравитационное поле – материальная среда, посредством которой осуществляется гравитационное взаимодействие между телами. Отличительная особенность гравитационного поля состоит в том, что на помещенную в него материальную частицу действует сила, пропорциональная массе этой точки. Силовой характеристикой гравитационного поля является его *напряженность* – векторная величина \vec{G} , равная $\vec{G} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Напряженность гравитационного поля не зависит от массы материальной частицы, а является функцией координат точек рассматриваемого поля. В случае нестационарного поля \vec{G} зависит также от времени. Напряженность стационарного гравитационного поля, источником которого является неподвижная материальная точка массой M , находящаяся в начале координат определяется по формуле $\vec{G} = -\gamma \frac{M}{r^3} \vec{r}$, где \vec{r} – радиус-вектор рассматриваемой точки поля, γ -коэффициент.

Гравитационное поле потенциально, так как сила, действующая на внесенную в него материальную частицу массы m является центральной. *Потенциальная энергия* частицы массой m в стационарном гравитационном поле $W_n = \int_r^{\infty} (\vec{F} d\vec{r}) = -\gamma \frac{mM}{r}$, где M – масса материальной точки, являющейся источником гравитационного поля.

В силу потенциальности гравитационного поля вводится его энергетическая характеристика – потенциал ϕ . Потенциал в какой-либо точке гра-

витационного поля численно равен работе, совершаемой силами поля при перемещении материальной точки единичной массы из этой точки поля в ту точку, где потенциал поля принят равным 0. Для гравитационного поля материальной точки или тела шарообразной формы $\varphi = -\gamma \frac{M}{r}$.

Напряженность и потенциал гравитационного поля удовлетворяет принципу суперпозиции $\vec{G} = \sum_{i=1}^n \vec{G}_i$; $\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$.

Классическая теория гравитационного поля достаточно полно описывает только сравнительно слабые гравитационные поля, потенциалы которых $|\varphi| \ll c^2$, где c – скорость света в вакууме. Современная (релятивистская) теория тяготения, представляющая единую теорию пространства, времени и тяготения – общая теория относительности, в соответствии с которой геометрические свойства пространства-времени зависят от распределения в пространстве тяготеющих тел и их движения.

Тела, создающие гравитационное поле, искажают реальное трехмерное пространство и по разному изменяют ход времени в различных его точках. В релятивистской теории тяготения было показано, что для произвольных гравитационных полей принцип суперпозиции не выполняется.

С микроскопической точки зрения гравитационное поле состоит из элементарных частиц – квантов поля (гравитонов).



Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимают под гравитационным полем?
2. Какую физическую величину называют напряженностью гравитационного поля, и по какой формуле определяется напряженность гравитационного поля материальной точки?
3. Какую физическую величину называют потенциалом гравитационного поля, и по какой формуле определяется потенциал гравитационного поля материальной точки?
4. По какой формуле определяется потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек?
5. С каких частиц с микроскопической точки зрения состоит гравитационное поле?

3.4 ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Взаимодействие между электрически заряженными частицами или телами, движущимися произвольным образом относительно инерциальной системы отсчета, осуществляется посредством *электромагнитного поля*,

которое представляет собой совокупность двух взаимосвязанных полей – *электрического* поля и *магнитного* поля. Это поле характеризуется напряженностью электрического поля (\vec{E}) и индукцией магнитного поля (\vec{B}). Деление электромагнитного поля на электрическое и магнитное поле условно. В различных инерциальных системах отсчета, движущихся одна относительно другой, векторы \vec{E} и \vec{B} в электромагнитном поле в одной и той же точке пространства различны.

Характерная особенность электрического поля, отличающая его от других полей, состоит в том, что оно действует на движущийся электрический заряд (заряженную частицу или тело) с силой, которая не зависит от скорости движения заряда. Видами электрического поля являются *электростатическое, стационарное электрическое и вихревое электрическое* поле.

В отличие от электрического поля магнитное поле действует только на движущиеся электрические заряды (заряженные частицы или тела) с силой, пропорциональной скорости заряда и направленной перпендикулярно этой скорости.

Силовой характеристикой электрического поля является вектор *напряженности* \vec{E} : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$; где q_0 – *пробный* точечный заряд (значение заряда

гораздо меньше заряда источника поля, положительный по знаку), помещенный в рассматриваемую точку поля; \vec{F} – сила, с которой поле действует на пробный точечный заряд.

Так напряженность электростатического поля точечного заряда в точке М, определяемой радиус-вектором \vec{r} относительно заряда, рассчитывается по формуле: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon \cdot r^3} \cdot \vec{r}$, а ее модуль: $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon \cdot r^2}$, где ϵ_0 –

электрическая постоянная, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, т.е. численное значение напряженности поля точечного заряда прямо пропорционально величине заряда q и обратно пропорционально относительной диэлектрической проницаемости среды ϵ и квадрату расстояния r от рассматриваемой точки поля до заряда, который является источником поля.

Силовой характеристикой электрического поля в среде является *вектор электрической индукции* \vec{D} . $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$, $\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$, $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$, $\epsilon = 1 + \chi$, где \vec{P} – вектор поляризации, χ – диэлектрическая восприимчивость вещества.

Для описания электрического поля вводится понятие *потока вектора напряженности*. Элементарным потоком вектора напряженности электрического поля сквозь малый участок поверхности площадью dS , проведенной в поле, называется физическая величина $d\Phi_E = \vec{E} d\vec{S} = E \cdot dS \cos(\vec{E}, \hat{n}) =$

$= E_n dS = E \cdot dS_{\perp}$, где \vec{E} – вектор напряженности электрического поля в точках площадки dS , \vec{n} – единичный вектор, нормальный к площадке dS , $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ – вектор площади, $E_n = E \cos(\vec{E} \wedge \vec{n})$ – проекция вектора \vec{E} на направление вектора \vec{n} , $dS_{\perp} = dS \cos(\vec{E} \wedge \vec{n})$ – площадь проекции элемента dS поверхности на плоскость, перпендикулярную вектору \vec{E} (рис. 6).

Поток вектора напряженности электрического поля Φ_E сквозь поверхность S равен алгебраической сумме потоков сквозь все малые участки этой поверхности.

$$\Phi_E = \int_{(S)} \vec{E} d\vec{S} = \int_{(S)} E dS \cos(\vec{E}, \vec{n}) = \int_{(S)} E_n dS = \int_{(S)} E dS_{\perp}$$

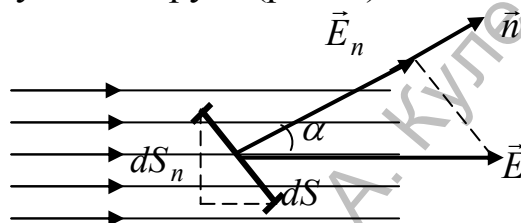


Рис. 6

При этом все векторы \vec{n} нормалей к площадкам dS должны быть направлены в одну и ту же сторону относительно поверхности S .

Для расчета электростатических полей в вакууме применяется теорема Остроградского-Гаусса: *поток вектора напряженности электростатического поля в вакууме сквозь произвольную замкнутую поверхность, проведенную в поле, пропорционален алгебраической сумме электрических зарядов, охватываемых этой поверхностью.*

$$\oint_{(S)} \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} q.$$

Использование теоремы Остроградского-Гаусса особенно удобно в случае полей, которые обладают заранее неизвестной симметрией, обусловленной симметрией в конфигурации зарядов.

Графическое изображение стационарного, т.е. не изменяющегося со временем электрического поля проводится методом линий напряженности. Линиями напряженности (силовыми линиями электрического поля) называются линии, проведенные в электрическом поле так, что в каждой точке поля касательная к линии напряженности совпадает с направлением вектора напряженности \vec{E} в этой точке поля.

Электрическое поле называется однородным, если во всех его точках напряженность \vec{E} имеет одно и то же значение. В противном случае электрическое поле называется неоднородным. Для электрического поля справедлив принцип суперпозиции: $\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$, где \vec{E}_i – напряженность электрического поля, созданного i -тым зарядом.

Энергетической характеристикой электростатического поля является его потенциал. Потенциалом электростатического поля называется физическая величина φ , равная отношению потенциальной энергии W_{Π} проб-

ного точечного электрического заряда, помещенного в рассматриваемую точку поля, к величине q_0 этого заряда: $\varphi = \frac{W_{\Pi}}{q_0}$. В соответствии с принципом суперпозиции электрических полей $\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$, где φ_i – потенциал электростатического поля в рассматриваемой точке, созданного i -тым зарядом.

При этом предполагается одинаковый для всех накладывающихся полей выбор точки, в которой потенциал считается равным нулю. Например, потенциал электростатического поля, созданного точечным зарядом, равен 0 в бесконечности.

Если заряды распределены в пространстве непрерывно, то потенциал φ их поля в вакууме (при выборе точки, где $\varphi = 0$, в бесконечности) равен:

$$\varphi = \int_{(q)} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r},$$
 где интегрирование проводится по всем зарядам, образующим рассматриваемую систему.

При перемещении точечного заряда q из точки 1 поля (потенциал) в точку 2 (потенциал φ_2) силами электростатического поля совершается работа, равная: $A_{1-2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$. Если $\varphi_2 = 0$, то $\varphi_1 = \frac{A_{1-2}}{q}$.

Геометрическое место точек электростатического поля, значения потенциала в которых одинаковы, называется *экипотенциальной поверхностью*.

Работа сил поля при перемещении $d\vec{r}$ заряда q в электростатическом поле равна: $\delta A = -dW_{\Pi} = -qd\varphi$. С другой стороны, $\delta A = q\vec{E}d\vec{r} = qE_r dr$. Из сравнения этих выражений для δA : $-qd\varphi = qE_r dr$; $E_r = -\frac{d\varphi}{dr}$, где E_r – проекция вектора \vec{E} напряженности на направление вектора перемещения.

Если вектор $d\vec{r}$ направлен по касательной к экипотенциальной поверхности, то $\frac{d\varphi}{dl} = 0$ и $E_r = 0$, т.к. $d\vec{r} \perp \vec{E}$. Следовательно, экипотенциальные поверхности ортогональны к силовым линиям. Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении электрического заряда по одной и той же экипотенциальной поверхности, равна нулю.

Электростатическое поле графически изображается не только с помощью силовых линий, но и экипотенциальных поверхностей. Экипотенциальные поверхности обычно строят так, чтобы разность потенциалов между любыми двумя соседними поверхностями была одинаковой. Зная расположение этих поверхностей, можно построить силовые линии и найти значения напряженности поля. Наоборот, по известному расположению

силовых линий электростатического поля можно построить эквипотенциальные поверхности.

Магнитную индукцию \vec{B} можно ввести одним из трех взаимосвязанных способов:

- ☑ исходя из силового действия магнитного поля на движущуюся в нем заряженную частицу – точечный электрический заряд;
- ☑ основываясь на силовом действии магнитного поля на малый элемент проводника с током;
- ☑ исходя из силового действия магнитного поля на небольшую рамку с током.

Пусть для исследования магнитного поля используют пробный ток, циркулирующий в плоском замкнутом контуре очень малых размеров (рис. 7). Магнитный момент такого пробного контура равен: $P_m = I \cdot S$,

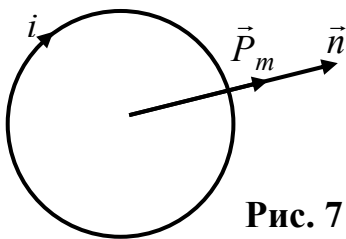


Рис. 7

где S – площадь, ограниченная контуром. Здесь \vec{n} – положительная нормаль, определяемая по правилу буравчика. Оказывается, что магнитное поле оказывает ориентирующее действие на этот контур. На пробные контуры, отличающиеся значением P_m , действуют в данной точке поля разные по величине вращательные моменты M_{\max} .

Однако отношение $\frac{M_{\max}}{P_m}$ для всех контуров, помещенных в одну и ту

же точку магнитного поля одинаково, и может быть принято для количественной характеристики поля.

Физическую величину B , равную этому отношению, называют магнитной индукцией: $B = \frac{M_{\max}}{P_m}$; $[B] = \frac{H \cdot m}{A \cdot m^2} = 1 \text{Тл}$ (Тесла). Магнитная индукция – физическая векторная величина. Условились считать, что вектор магнитной индукции совпадает по направлению с \vec{n} .

Магнитное поле называется *однородным*, если магнитная индукция \vec{B} во всех его точках имеет одно и то же значение. В противном случае магнитное поле называется *неоднородным*. Для магнитного поля, справедлив принцип суперпозиции: $\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$.

Магнитная индукция $d\vec{B}$ поля в вакууме созданного малым элементом проводника длиной dl , по которому идет постоянный электрический ток силой I , определяется по закону Био-Савара-Лапласа: $d\vec{B} = k \frac{I}{r^3} [d\vec{l} \cdot \vec{r}]$, где

$d\vec{l} = dl \frac{\vec{j}}{j}$, \vec{j} – вектор плотности тока, \vec{r} – радиус-вектор, проведенный из элемента проводника в рассматриваемую точку поля, k – коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц. В СИ $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{м}$ – магнитная постоянная. Тогда $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^3} [d\vec{l}, \vec{r}]$.

Направление вектора $d\vec{B}$ определяется по правилу Максвелла (правилу правого винта).

Из закона Био-Савара-Лапласа следует, что $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \varphi}{r^2} = \frac{\mu_0 Id \varphi}{4\pi \cdot r}$, где $d\varphi$ – угол, под которым из рассматриваемой точки поля виден элемент dl проводника с током. $\vec{B} = \int_{(l)} d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{(l)} \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$, где интегрирование проводится по всей длине l проводника.

Индукция \vec{B} магнитного поля, возбуждаемого в вакууме движущейся с постоянной скоростью \vec{v} ($v \ll c$) заряженной частицей $\vec{B}_q = \frac{\mu_0 q}{4\pi \cdot r^3} [\vec{v}, \vec{r}]$;

$B_q = \frac{\mu_0 q v \sin(\vec{v} \wedge \vec{r})}{4\pi r^2}$, где q – заряд частицы, а \vec{r} – радиус-вектор, проведенный от движущейся частицы в рассматриваемую точку поля. Вектор \vec{B}_q направлен перпендикулярно плоскости, проведенной через вектора \vec{v} и \vec{r} с учетом знака заряда движущейся частицы. Магнитное поле движущегося заряда переменное, так как даже при $q = const$ изменяется как по модулю, так направление радиус-вектора \vec{r} .

Для описания магнитного поля в веществе рассматривается *вектор напряженности* магнитного поля \vec{H} . $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}$, $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{(1 + \chi)\mu_0} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}$ где \vec{J} – вектор намагниченности вещества, χ – магнитная восприимчивость вещества, μ – магнитная проницаемость вещества. Взаимосвязь между магнитной проницаемостью и магнитной восприимчивостью вещества выражается формулой $\mu = 1 + \chi$.

Для графического изображения магнитного поля пользуются линиями магнитной индукции. Линией магнитной индукции называется линия, проведенная в магнитном поле так, что в каждой точке поля касательная к линии совпадает с направлением магнитной индукции \vec{B} в этой точке поля. Линии магнитной индукции нигде не обрываются, т.е. не начинаются и не заканчиваются. Они либо замкнуты, либо идут из бесконечности в бесконечность, либо бесконечно навиваются на некоторую поверхность, всюду плотно заполняя ее. Направление линий магнитной индукции определяется по правилу буравчика.

Поля, обладающие замкнутыми линиями магнитной индукции, получили название *вихревых полей*. Значит, магнитное поле есть вихревое поле. В этом заключается существенное отличие магнитного поля от электростатического. В электростатическом поле силовые линии всегда разомкнуты: они начинаются и заканчиваются на электрических зарядах. Линии магнитной индукции не имеют ни начала, ни конца. Это соответствует тому, что в природе нет магнитных зарядов, аналогичных электрическим.

Для описания магнитного поля вводится понятие потока магнитной индукции. Элементарным потоком магнитной индукции магнитного поля сквозь малый участок поверхности площадью dS , помещенной в поле, называется скалярная физическая величина $d\Phi_B = \vec{B}d\vec{S} = B \cdot dS \cos(\vec{B}, \hat{n}) = B_n dS = B \cdot dS_{\perp}$, где \vec{B} – индукция магнитного поля в точках площадки dS , \vec{n} – единичный вектор, нормальный к площадке dS , $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ – вектор площадки, $B_n = B \cos(\vec{B}, \hat{n})$ – проекция вектора \vec{B} на направление вектора \vec{n} , $dS_{\perp} = dS \cos(\vec{B}, \hat{n})$ – площадь проекции элемента dS поверхности на плоскость, перпендикулярную вектору \vec{B} .

Поток вектора магнитной индукции \vec{B} сквозь поверхность S равен алгебраической сумме потоков сквозь все малые участки этой поверхности.

$$\Phi_B = \int_{(S)} \vec{B}d\vec{S} = \int_{(S)} B dS \cos(\vec{B}, \hat{n}) = \int_{(S)} B_n dS = \int_{(S)} B dS_{\perp}.$$

При этом все векторы \vec{n} нормалей к площадкам dS должны быть направлены в одну и ту же сторону относительно поверхности S .

С переменным магнитным полем неразрывно связано вихревое индукционное электрическое поле, что подтверждается явлением электромагнитной индукции и явлением самоиндукции.

Электромагнитной индукцией называют возникновение электродвижущей силы в проводнике при его перемещении в магнитном поле, или в замкнутом проводящем контуре вследствие изменения магнитного потока, пронизывающего этот контур. Эта электродвижущая сила $\varepsilon_{инд}$ называется электродвижущей силой электромагнитной индукции. В соответствии с законом электромагнитной индукции (законом Фарадея-Максвелла)

$\varepsilon_{инд} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$. При этом несущественно, чем именно вызвано изменение магнитного потока – деформацией контура, его перемещением в магнитном поле или изменением самого поля с течением времени. Направление обхода контура при вычислении $\varepsilon_{инд}$ и направление нормали \vec{n} при вычислении Φ_B должны быть согласованы по правилу правого винта.

Знак «минус» в правой части закона электромагнитной индукции соответствует правилу Ленца: *при всяком изменении потока вектора маг-*

нитной индукции сквозь поверхность, ограниченную проводящим контуром, в контуре возникает индукционный ток такого направления, что его собственное магнитное поле противодействует изменению магнитного поля, вызвавшего индукционный ток.

Возникновение ЭДС электромагнитной индукции в электрической цепи вследствие изменения в ней электрического тока называют *самоиндукцией*, а соответствующую ЭДС – *электродвижущей силой самоиндукции*.

Из закона электромагнитной индукции следует, что $\varepsilon_c = -\frac{d\psi_c}{dt}$, где ψ_c – потокосцепление самоиндукции рассматриваемого контура с током. $\psi_c = LI$, где L – индуктивность контура. Индуктивность контура зависит только от его формы и размеров, а также от магнитной проницаемости μ среды. Выражение для ЭДС самоиндукции имеет вид $\varepsilon_c = -\frac{d}{dt}(LI)$.

Если контур не деформируется и находится в неферромагнитной среде, то при изменении электрического тока I индуктивность контура не изменяется. Поэтому $\varepsilon_c = -L\frac{dI}{dt}$. Изменяющееся (вихревое) электрическое поле порождает вихревое магнитное поле.

Обобщающей теорией единого электромагнитного поля является макроскопическая феноменологическая *теория Максвелла*, представленная системой уравнений. *Первое уравнение* Максвелла является обобщением закона электромагнитной индукции. Его можно записать в виде:

$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = -\int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$, где $d\vec{S} = dS\vec{n}$, \vec{n} – единичный вектор нормали к малому элементу dS поверхности S , натянутой на замкнутый контур L (из конца вектора \vec{n} обход контура L виден происходящим против часовой стрелки).

Максвелл обобщил закон полного тока, предположив, что переменное электрическое поле, так же как и электрический ток, является источником магнитного поля. Количественной мерой магнитного действия переменного электрического поля является ток смещения:

$I_{см} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} = \frac{\partial \Phi_E}{\partial t}$, где

$\Phi_E = \int_{(S)} \vec{D} d\vec{S}$ – поток вектора электрического смещения сквозь поверхность S .

Максвелл добавил в правую часть закона полного тока ток смещения и написал закон полного тока в форме $\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = I_{макро} + I_{см}$. Это и есть *второе уравнение Максвелла*.

уравнение Максвелла.

Максвелл обобщил теорему Остроградского-Гаусса для электростатического поля. Он предположил, что она справедлива для любого электри-

ческого поля. Соответственно, *третье уравнение Максвелла* имеет вид: $\oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = q_{cs}^{oxe}$. Он также предположил, что теорема Остроградского-

Гаусса справедлива для любого магнитного поля. Поэтому *четвертое уравнение Максвелла* имеет вид: $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$.

Приведенную систему уравнений необходимо дополнить уравнениями, характеризующими электрические и магнитные свойства среды. В случае изотропных сред и макротоков эти уравнения имеют вид: $\vec{D} = \xi\xi_0\vec{E}$, $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$, $\vec{j}_{макр} = \gamma \cdot \vec{E}$. Важным свойством уравнений Максвелла явилась их инвариантность относительно преобразований Лоренца.

С макроскопической точки зрения свободное поле проявляется прежде как поток энергии и импульса, распределяемых в пространстве. Объемная плотность энергии и импульс электромагнитного поля в линейной изотропной среде определяется по формулам: $w = \frac{\xi\xi_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$, $\vec{p} = \frac{[\vec{E}\vec{H}]}{4\pi \cdot c}$, где c – скорость света в вакууме.

С микроскопической точки зрения электромагнитное поле состоит из квантов поля (фотонов). Существование фотонов подтверждается огромным экспериментальным материалом. Подтверждается формула взаимосвязи энергии и импульса фотона $E = pc$.

Фотон, как и всякая другая элементарная частица, обладает строго определенными значениями импульса и энергии.



Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимают под электромагнитным полем?
2. Какие выделяют виды электрического поля?
3. Какую физическую величину называют напряженностью электрического поля, по какой формуле определяется напряженность электрического поля точечного заряда?
4. Какую физическую величину называют потенциалом электрического поля?
5. Как формулируется теорема Остроградского-Гаусса?
6. Как вводят магнитной индукцию по действию магнитного поля на пробный контур с током?
7. Какую физическую величину называют напряженностью магнитного поля?
8. Какое явление называют явлением электромагнитной индукции?
9. Какое уравнение Максвелла является обобщением закона электромагнитной индукции?

10. Какое уравнение Максвелла является обобщением закона полного тока?

11. Какое уравнение Максвелла является обобщением теоремы Остроградского-Гаусса?

3.5 ВЕЩЕСТВО И ПОЛЕ

Разделение материи на вещество и поле является оправданным только для макропроцессов (на макроуровне). В микромире различие вещества от поля весьма условно.

При изучении строения материи на макроуровне были сделаны попытки ученых свести один вид материи к другому. Так полное торжество максвелловской теории электромагнитного поля, подтверждение ее выводов на практике побудило ученых считать, что вещество представляет особое состояние электромагнитного поля (области большой концентрации поля). Масса электрона отождествлялась с массой окружающего электрон поля.

С открытием и изучением элементарных частиц на третьем уровне элементарности выяснилось, что элементарные частицы обладают волновыми свойствами. В рамках нерелятивистской квантовой механики была создана (разработана) концепция (теория) корпускулярно-волнового дуализма.

Развитием нерелятивистской квантовой механики является релятивистская квантовая механика. В ней рассматривается возможность процессов рождения и поглощения частиц, производится дальнейшее обобщение понятия волновой функции. Введение квантовых полей отражает в теории единство корпускулярной и волновой природы физических объектов, являющееся важнейшим свойством материи.

Важнейшим результатом релятивистской квантовой механики является возможность образования электронно-позитронных пар электромагнитным полем и превращения электронно-позитронных пар в электромагнитное поле. Пары образуются при длине волны фотона меньше чем $2 \cdot 10^{-13}$ м.


В рамках релятивистской квантовой теории в содержание понятия об элементарной частице включены волновые свойства. Прежнее понимание поля также перестает соответствовать действительности: совершенно новым свойством стала дискретность, квантованность поля. Поле стало само частицей.

В релятивистской квантовой механике значительное место занимают понятия о виртуальных процессах и виртуальных частицах. Виртуальный это значит возможный, ненаблюдаемый, неявный, дающий эффект, промежуточный, кратковременный, охватывающий только начальные и конеч-

ные стадии взаимодействия, существующий за счет “займа” энергии. Все эти расшифровки имеют смысл, так как каждая из них выражает определенную сторону содержания этого понятия.

Понятия о виртуальных процессах и виртуальных частицах органически связаны с основными принципами квантовой физики. Квантовое представление электромагнитного поля неизбежно приводит к выводу об испускании заряженными частицами виртуальных фотонов. Так же обстоит дело и в случае квантового представления других физических полей. Виртуальные процессы тесно связаны с соотношением неопределенностей для энергии-времени ($\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$).

В силу кратковременности существования виртуальных частиц они не наблюдаемы. Однако существует ряд доказательств объективного существования виртуальных частиц.

 *Вопросы для самоконтроля:*

1. На каком уровне изучения материи оправдано выделение вещества и физического поля?
2. На каком уровне изучения материи и почему не оправдано выделение вещества и поля?
3. В чем заключается квантовое представление об электромагнитном поле?

3.6 ОТРАЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ ИДЕЙ СТРОЕНИЯ МАТЕРИИ В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Виды и свойства материи изучаются на первой и второй ступенях обучения физике. При этом в содержании обучения можно выделить два направления: свойства, состояния и строение вещества (таблица 8); свойства и проявления физических полей (таблица 9). Содержание каждого из них можно определять в соответствии с основными дидактическими принципами и идеями конструирования содержания обучения следующим образом.

Таблица 8

Свойства, состояния и строение вещества

Группа свойств	Свойство	Состояние вещества	Физическая величина	Класс
Механические	Сохранение формы	Твердое	Линейный размер, a, b, c	6, 10
	Сохранение объема	Твердое, жидкое	Объем, V	6, 10

Группа свойств	Свойство	Состояние вещества	Физическая величина	Класс
	Распределение вещества в пространстве	Твердое, жидкое, газообразное	Плотность, ρ_v	6, 7
	Инертность	Твердое, жидкое, газообразное	Масса, m	7, 9
	Упругость	Твердое	Модуль Юнга, E	9, 10
	Прочность	Твердое	Предел прочности, $\sigma_{пр}$	10
	Пластичность	Твердое		10
Термодинамические (тепловые)	Тепловое расширение	Твердое, жидкое		6
	Теплопередача (теплопроводность)	Твердое, жидкое, газообразное		8
	Теплопередача	Твердое, жидкое, газообразное	Теплоемкость, C (удельная, c)	8
	Изменять фазовое состояние	Твердое, жидкое, газообразное	Удельная теплота плавления (λ) и испарения (L)	8
	Дискретное строение	Твердое, жидкое, газообразное		6, 8, 10, 11
	Диффузия	Твердое, жидкое, газообразное		6, 10
Электрические	Электропроводность	Твердое, жидкое, газообразное	Удельное электрическое сопротивление (ρ),	8
	Диэлектрические свойства	Твердое, жидкое, газообразное	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	8, 10
	Емкость	Твердое, жидкое	Емкость, C	10
Магнитные	Намагничивание	Твердое	Магнитная проницаемость, μ	10
Оптические	Отражение	Твердое, жидкое	Коэффициент отражения, ρ	8
	Преломление	Твердое, жидкое, газообразное	Показатель преломления, n	8, 11
	Дисперсия	Твердое, жидкое		11

Приведенные физические знания по описанию свойств, состояний и строения вещества достаточно полно отражают эти свойств в классической физике. Они распределены в разные темы школьного курса в соответствии с обобщенной схемой построения содержания обучения физике, приведенной на рисунке 4.

Важной составляющей учебной программы по физике является требования к знаниям и умениям учащихся. Достаточно четко эти требования могут быть сформулированы на основе выделения структурных элементов физических знаний и указания уровня абстракции его усвоения (или перечисления составляющих компонент его содержания).

Таблица 9

Свойства и проявления физических полей

Физическое поле	Свойство	Физическая величина	Класс
Гравитационное поле	Материальность		9
	Силовое действие	Сила всемирного тяготения, F_m	9
	Источник: вещественные объекты		9
	Безграничность		9
Электростатическое	Источник: электрический заряд		8, 10
	Безграничность		8, 10
	Взаимная проницаемость		10
	Силовое действие	Напряженность, \vec{E}	10
	Индикатор (пробный заряд)	q_0	8, 10
	Обладание энергией	Потенциал, φ Объемная плотность, ω	10
	Взаимодействие с веществом	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	8, 10
	Графическое изображение		10
Вихревое электрическое	Источник: изменяющееся магнитное поле или движущиеся заряды		10
Магнитное	Источники: проводник с постоянным током, постоянный магнит, Земля, движущиеся равномерно заряженные частицы.		8, 10
			8, 10
			8
			10

Физическое поле	Свойство	Физическая величина	Класс
	Безграничность		8, 10
	Материальность		8, 10
	Взаимная проницаемость		10
	Силовое действие	Магнитная индукция, \vec{B}	10
	Индикатор	Движущийся заряд	8, 10
	Обладание энергией	Объемная плотность, ω	10
	Взаимодействие с веществом	Магнитная проницаемость, μ	
	Графическое изображение		10
Электромагнитное	Материальность		10
	Силовое действие		10
	Безграничность		10
	Относительность проявления свойств электрической и магнитной составляющих		

Физические знания по описанию свойств и проявлений электромагнитного поля в курсе физики средней общеобразовательной школы позволяют рассматривать их как материальное образование, через которое осуществляется электромагнитное взаимодействие, и установить отличие физического поля от вещества.

В целом содержание обучения на первой и второй ступенях изучения физики в средней общеобразовательной школе отобрано с учетом основных дидактических принципов. При этом имеет смысл дополнить и изменить имеющуюся конструкцию содержания обучения с учетом дидактических положений на основе его квантования (выделения структурных элементов физических знаний) и отражения их взаимосвязи с учетом их содержания как логических категорий. Требуется усиление методологического аспекта содержания обучения физике и более полное раскрытие содержания структурных элементов физических знаний.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какие механические свойства вещества изучаются в 6-м классе?
2. Какие механические свойства вещества изучаются в 10-м классе?
3. Какие тепловые свойства вещества изучаются в 8-м классе?
4. Какие электрические свойства вещества изучаются в 8-м классе?
5. Какие электрические свойства вещества изучаются в 10-м классе?

6. Какие оптические свойства вещества изучаются в 8-м классе?
7. Какие оптические свойства вещества изучаются в 11-м классе?
8. Какие свойства электростатического поля изучаются в 10-м классе?
9. Какие свойства стационарного магнитного поля изучаются в 8-м классе?
10. Какие свойства стационарного магнитного поля изучаются в 10-м классе?

4. ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ И ИХ ОПИСАНИЕ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

4.1 МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наиболее простой формой движения материи является *механическое*, состоящее в изменении взаимного расположения тел или их частей в пространстве с течением времени. Основными видами механического движения являются поступательное, вращательное и колебательное движение.

Основные закономерности механического движения установлены в середине XVII века итальянским физиком и астрономом Г. Галилеем и окончательно сформулированы в конце XVII века английским ученым И. Ньютоном.

Механику Галилея–Ньютона называют *классической механикой*. В ней изучаются законы движения макроскопических тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света в вакууме. Законы движения физических тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света в вакууме, изучаются *релятивистской механикой*, основанной на специальной теории относительности (СТО), сформулированной А. Эйнштейном в начале XX века. Для описания движения микроскопических тел созданы законы *квантовой механики*.

Любая система механики изучает движение не реальных материальных объектов с ее многообразными свойствами, а идеализированных объектов, в которых сохранены лишь некоторые из их свойств изучаемого объекта. В основе каждой системы механики лежит своя идеализированная модель мира, свои понятия и в конечном счете свои законы. Эти законы оказываются верными настолько, насколько хорошо идеализированная модель соответствует реальному миру.

Основным идеализированным объектом механики является *материальная точка (МТ)*. Материальный объект можно рассматривать как мате-

риальную точку, если можно считать, что в любой момент времени *все его точки движутся одинаково*. Вопрос о том, можно ли рассматривать данный материальный объект как МТ, определяется не размерами этого объекта, а особенностями его движения. Так во многих задачах небесной механики планеты и звезды можно принимать за МТ. Обычное определение МТ как тела, размерами которого можно пренебречь по сравнению с какими-то расстояниями, является следствием вышеназванного условия.

В структуре механики выделяют кинематику, динамику и статику. *Кинематика* исследует механическое движение тел без выяснения причин, вызывающих и изменяющих это движение. Важнейшими идеализированными моделями кинематики являются инерциальная система отсчета, равномерное прямолинейное движение, прямолинейное равноускоренное движение, равномерное движение материальной точки по окружности, равномерное вращение твердого тела относительно неподвижной оси, равноускоренное вращение твердого тела относительно неподвижной оси.

Смысл понятия о движении становится ясным лишь после того, как выбрана *система отсчета* (СО). Под системой отсчета понимают систему координат и часы, «связанные» с каким-либо абсолютно твердым телом (телом отсчета) и используемую для определения положения в пространстве исследуемых тел и частиц в различные моменты времени. Существует столько СО, сколько существует абсолютно твердых тел. Интуитивно можно предположить, что в одних из них движение изучать проще, чем в других. Например, наблюдать и описывать движение тел на земле проще, стоя на земле, чем вращаясь на карусели. Наиболее простыми и удобными будут СО, «связанные с изолированными телами».

Система координат и часы, связанные с изолированным абсолютно твердым телом, называется инерциальной системой отсчета (ИСО). Строго изолированных абсолютно твердых тел нет, поэтому любая СО лишь в большей или меньшей степени удовлетворяет определению ИСО. Например, гелиоцентрическая СО (тело отсчета – Солнце) почти в точности ИСО. Систему отсчета, связанную с неизоллированным абсолютно твердым телом, называют *неинерциальной (НИСО)*.

Основная задача кинематики – определение положения тела в пространстве относительно других тел в любой момент времени. Различают три способа аналитического описания положения и движения материальной точки в пространстве: *естественный, векторный и координатный*.

При *естественном способе* описание движения заключается в том, что положение материальной точки определяется расстоянием от тела (точки), отсчитываемым по траектории. Это расстояние зависит от времени t , т.е. $s = s(t)$. Это соотношение называется *законом движения материальной точки по траектории*.

Векторный способ предусматривает задание радиус-вектора \vec{r} как функции времени t , т.е. $\vec{r} = \vec{r}(t)$. Начало радиус-вектора \vec{r} выбирается в точке тела отсчета, принятой за начало координат, а конец – в положении материальной точки в пространстве в данный момент времени t . При движении материальной точки изменяются модуль и направление радиус-вектора и, следовательно, $\vec{r} = \vec{r}(t)$ полностью характеризует положение материальной точки в пространстве в любой момент времени.

Координатный способ описания движения материальной точки состоит в выборе некоторой системы координат, которая связана с телом отсчета. В классической механике как правило применяют декартову прямоугольную систему координат. Положение материальной точки в декартовой системе отсчета в любой момент времени определяется тремя координатами x , y и z , являющимися функциями времени, т.е. $x = x(t)$; $y = y(t)$; $z = z(t)$. Эти три уравнения называют кинематическими уравнениями движения материальной точки.

Все три способа описания движения материальной точки связаны между собой. Рассмотрим связь между векторным и координатным способами описания движения материальной точки. Для этого на рисунке 8 в выбранной системе координат изобразим радиус-вектор материальной точки \vec{r} , $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы; $\vec{r}_x, \vec{r}_y, \vec{r}_z$ – составляющие радиус-вектора \vec{r} ($\vec{r} = \vec{r}_x + \vec{r}_y + \vec{r}_z$).

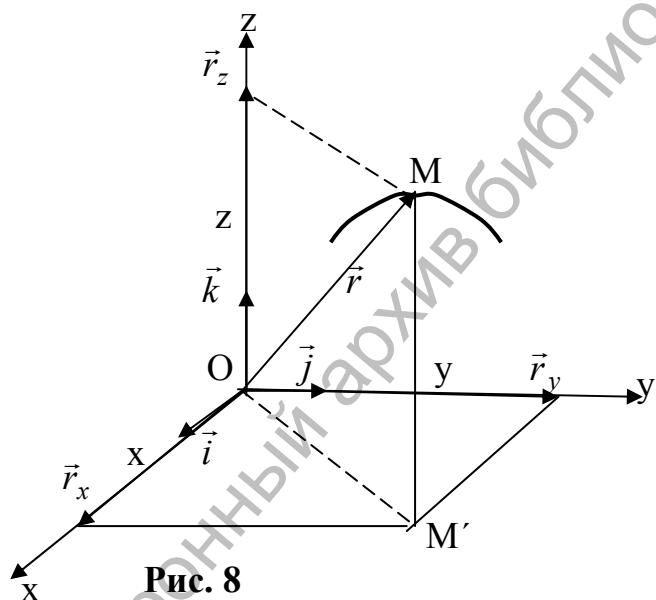


Рис. 8

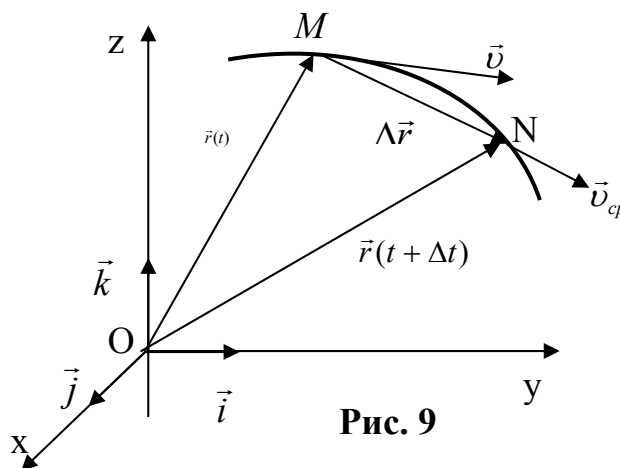


Рис. 9

Из математики известно, что $\vec{r}_x = r_x \cdot \vec{i} + r_y \cdot \vec{j} + r_z \cdot \vec{k}$, где $r_x = x, r_y = y, r_z = z$ – проекции радиус-вектора на соответствующие оси декартовой системы координат. Модуль радиус-вектора равен $|r| = r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

В классической механике рассматривают поступательное, вращательное и колебательное движения твердых тел. Параметрами механического движения являются *перемещение* (линейное и угловое), *скорость* (линейная и угловая) и *ускорение* (линейное и угловое). Если материальная точка за промежуток времени Δt переместилась из положения M в положение N (рис. 9), то при этом радиус-вектор изменился на $\Delta \vec{r} = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$. $\Delta \vec{r}$ называют *перемещением*.

Пусть материальная точка движется по окружности радиуса R (рис. 10).

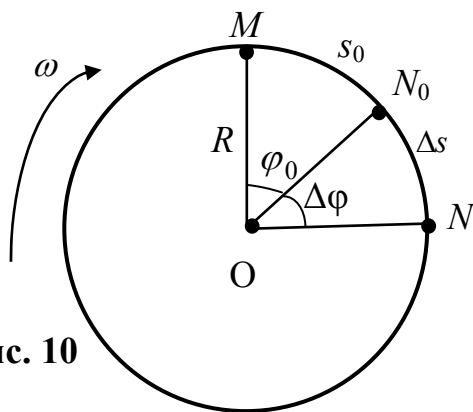


Рис. 10

В начальный момент времени $t = 0$ с материальная точка находилась в положении N_0 . Через промежуток времени Δt она оказалась в положении N . За это время радиус окружности, соединяющий ее центр с материальной точкой, описал угол $\Delta \varphi$. $\Delta \vec{\varphi}$ – вектор углового перемещения, направление которого определяется по правилу *правого винта*. Если направление вращения ручки правого (буравчика) совпадает с направлением движения материальной точки по окружности, то его поступательное движение совпадает с $\Delta \vec{\varphi}$.

Модуль перемещения и пройденный путь, даже при прямолинейном движении могут не совпадать.

Скорость – это физическая векторная величина, которая характеризует быстроту и направление изменения положения тела или его частей в пространстве с течением времени. Скорость – векторная физическая величина. Различают *среднюю скорость движения (пути)*, *среднюю скорость перемещения*, *среднюю угловую скорость*, *мгновенную линейную скорость*, *мгновенную угловую скорость*. Направление вектора скорости совпадает с направлением соответствующего перемещения.

Мгновенная скорость (скорость в данный момент времени) равна пределу средней скорости перемещения при $\Delta t \rightarrow 0$, т.е. $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$. Предел средней угловой скорости при $\Delta t \rightarrow 0$ называется *мгновенной угловой скоростью*:

$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$. Единица угловой скорости в СИ – $[\omega] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

$(\frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1})$.

При естественном способе задания движения материальной точки (рис. 11) материальная точка за промежуток времени Δt переместилась из

положения M в положение N . При $\Delta t \rightarrow 0$ модуль перемещения равен длине участка траектории MN , т.е. $|\Delta \vec{r}| = \Delta s$. Модуль мгновенной скорости

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}, \text{ где } s = s(t).$$

Мгновенная скорость будет равна:

$$\vec{v} = v \cdot \vec{\tau} = \frac{ds}{dt} \vec{\tau}, \text{ где } \vec{\tau} \text{ — единичный тангенциальный (касательный) вектор.}$$

Этот вектор при криволинейном движении изменяется по направлению, т.е. является функцией времени.

Пусть тело в подвижной системе отсчета K' обладает скоростью v' , направленной по оси Ox' (и Ox):

$$v' = \frac{dx'}{dt}. \text{ В неподвижной системе отсчета } K \text{ скорость этого тела равна } v = \frac{dx}{dt}.$$

Связь между v и v' определяется законом сложения скоростей $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$, где u — скорость подвижной системы отсчета K' относительно неподвижной системы отсчета K .

Пусть вектора \vec{v} и \vec{u} одинаково направлены. Для механического движения тел со скоростями, гораздо меньшими, чем скорость света, $v = v' + u$.

При движении тел со скоростями, сравнимыми с скоростью света, $v = \frac{u + v'}{1 + \frac{uv'}{c^2}}$ — релятивистский закон сложения скоростей. При условии $\frac{uv'}{c^2} \ll 1$,

получаем $v \approx v' + u$.

Из релятивистского закона сложения скоростей видно, что абсолютная скорость v не может превышать скорость света c ни при каких условиях.

В самом деле: пусть $v' = c$, тогда $v = \frac{c + u}{1 + \frac{u \cdot c}{c^2}} = \frac{c + u}{1 + \frac{u}{c}} = \frac{c + u}{c + u} \cdot c = c$.

Пусть $v' = c$ и $u = c$, тогда $v = \frac{2c}{1 + \frac{c^2}{c^2}} = \frac{2c}{1 + 1} = c$. При любых скоростях v' и

u (конечно, не больших c) результирующая скорость v не превышает c .

Скорость движения материальной точки, как правило, не остается постоянной, а со временем изменяется или ее модуль, или направление, или модуль и направление одновременно. В связи с этим в физике вводится в рассмотрение понятие *ускорения*. Различают *среднее* и *мгновенное* линейное и угловое ускорения. Ускорение — физическая векторная величина, направление которой совпадает с вектором изменения скорости.

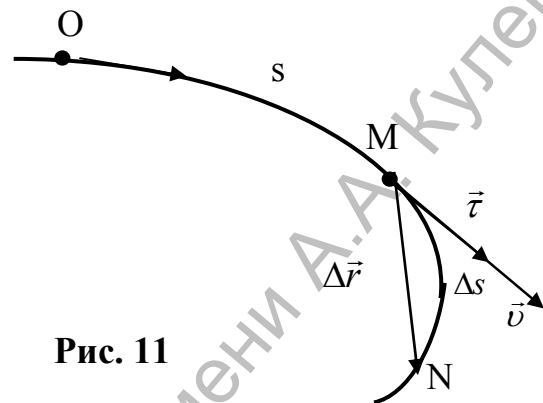


Рис. 11

Для нахождения *мгновенного ускорения* необходимо найти предел среднего ускорения при $\Delta t \rightarrow 0$: $\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$. Мгновенное ускорение материальной точки равно первой производной от скорости по времени и 2-й производной от радиуса вектора \vec{r} по времени $\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$. Единица ускорения $[a] = 1 \frac{m}{c^2}$.

Мгновенное угловое ускорение: $\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$; Единица измерения углового ускорения в СИ – $[\varepsilon] = \text{рад}/c^2 (1/c^2)$.

Если материальная точка совершает криволинейное движение, то целесообразно применить естественный способ задания ее движения (рис.12). Выбирают два взаимно перпендикулярных единичных вектора $\vec{\tau}$ (тангенциальный) и \vec{n} – перпендикулярный к нему (нормальный), которые лежат в плоскости движения материальной точки, $\vec{v} = v\vec{\tau}$.

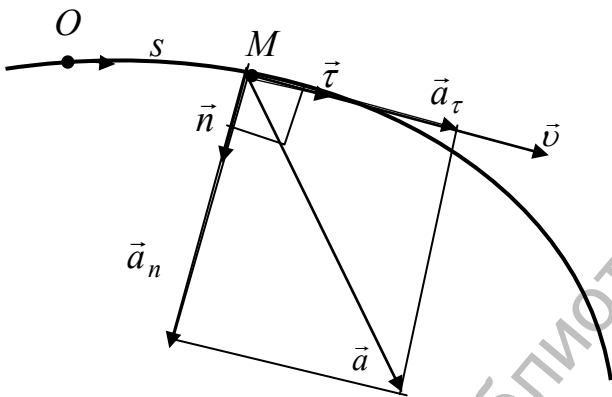


Рис. 12

где $\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{\tau} + \frac{v^2}{r} \vec{n}$, где $\frac{dv}{dt} \vec{\tau} = \vec{a}_\tau$ – тангенциальная составляющая ускорения (направлена по касательной к траектории в данной точке, и ее называют тангенциальным ускорением), $\frac{v^2}{r} \vec{n} = \vec{a}_n$ – нормальная составляющая ускорения (направлена по

перпендикуляру к $\vec{\tau}$ и называется нормальным ускорением).

Если тело (материальная точка) движется по прямой линии, то $a_n = 0$.

Из всех периодических движений (повторяющиеся через равные промежутки времени) важное место в физике и технике занимают колебания, т.е. такие движения, при которых материальная точка перемещается вперед и назад по отрезку прямой (или кривой) линии между крайними его точками.

В зависимости от характера движения точки колебания делятся на гармонические и негармонические. *Колебания, в которых смещение материальной точки изменяется со временем только по синусоидальному или косинусоидальному закону, называются гармоническими.* Уравнение незатухающих гармонических колебаний имеет вид: $x = x_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$ или $x = x_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$, где x_m – амплитуда (наибольшее смещение материальной точки от положения равновесия); $(\omega t + \varphi_0)$ – фаза гармонического колеба-

ния, φ_0 – начальная фаза (угол, определяющий смещение материальной точки в начальный момент времени), ω – циклическая (круговая) частота гармонического колебания.

Для колебания:
$$v = \frac{dx}{dt} = x_m \omega \cos(\omega t + \varphi_0) = v_m \cos(\omega t + \varphi_0) = v_m \sin(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}),$$

где $v_m = x_m \omega$ – амплитуда скорости; $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(x_m \omega \cos(\omega t + \varphi_0)) = -x_m \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -a_m \sin(\omega t + \varphi_0)$, где $a_m = x_m \omega^2 = v_m \omega$ – амплитуда ускорения. Выражение для a можно записать и в таком виде: $a = -x_m \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = x_m \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi)$. Таким образом, ускорение опережает по фазе смещение на π или на $\frac{1}{2}T$. Говорят, что ускорение и смещение изменяются в противофазе.

Пусть на материальную точку, которая движется вдоль оси Ox , действует упругая сила $F_{упр.x} = -kx$ (рис. 13).

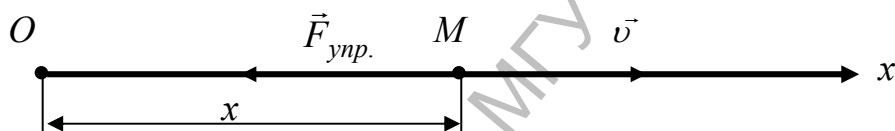


Рис. 13

В этом случае второй закон Ньютона в проекции на ось x можно записать так: $m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx$ или $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$. Обозначим $\frac{k}{m} = \omega_0^2$. Тогда

$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$. Это есть дифференциальное уравнение второго порядка (линейное, однородное, с постоянными коэффициентами). Из курса математики известно, что частным решением этого уравнения является:

$x = x_m \cdot \sin(\omega_0 t + \alpha)$, где x_m и α определяются из начальных условий следующим образом:

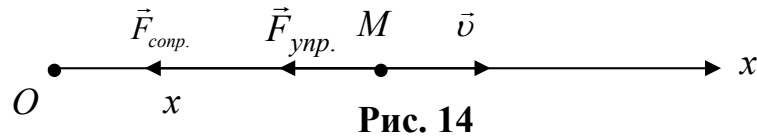
$$x|_{t=0} = x_0; v = \frac{dx}{dt} = x_m \omega_0 \cos(\omega_0 t + \alpha); v|_{t=0} = v_0; x_0 = x_m \sin \alpha; v_0 = x_m \omega_0 \cos \alpha;$$

$$x_m = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega_0^2}}; \operatorname{tg} \alpha = \frac{x_0 \cdot \omega_0}{v_0}.$$

В итоге мы имеем гармонические колебания с собственной частотой колебаний $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ и периодом колебаний $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.

Пусть материальная точка движется вдоль оси Ox под действием упру-

гой силы $F_{\text{упр.}} = -kx$ и силы сопротивления (трения) $F_{\text{сопр.}} = -\mu \cdot v = -\mu \frac{dx}{dt}$ (рис. 14).



Второй закон Ньютона в этом случае будет иметь вид:
 $m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\mu \frac{dx}{dt} - kx$ или $\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$, где $2\beta = \frac{\mu}{m}$, $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$.

Из математики известно, что решением этого дифференциального уравнения является функция: $x = x_m \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega t + \alpha)$, где β – называется коэффициентом затухания $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – частота затухающих колебаний. Сами же колебания называются затухающими, так как амплитуда колебаний уменьшается с течением времени по экспоненциальному закону: $x_{mi} = x_{m0} \cdot e^{-\beta t}$.

Если какая-нибудь точка находится в среде, все частицы которой “связаны” между собой (взаимодействуют с квазиупругими силами), и начинает колебаться, то это колебание передается от частицы к частице с некоторой скоростью. Процесс распространения колебаний в среде называется волной. Скорость распространения колебательного процесса называется скоростью волны.

Частицы среды, в которой распространяется волна, не переносятся волной, они лишь совершают колебания около своих положений равновесия. В зависимости от направления колебаний частиц по отношению к направлению, в котором распространяется волна, различают *продольные* и *поперечные* волны. В продольной волне частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны. В поперечной волне частицы среды колеблются в направлениях, перпендикулярных к направлению распространения волны.

Расстояние между двумя ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковых фазах, называется *длиной волны* λ . Ясно, что длина волны есть расстояние, на которое она распространяется за время $t = T$, т.е. это расстояние между двумя ближайшими «гребнями» или «впадинами»: $\lambda = \nu T$.

Понятно, что волновой процесс охватывает все новые и новые частицы среды. Геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени t , называется *фронтом волны*.

Пусть имеется какая-то среда, состоящая из множества (совокупности) частиц, часть из которых уже вовлечена в волновой процесс. Тогда ясно,

что фронт волны представляет собой ту поверхность, которая отделяет часть пространства, уже вовлеченную в волновой процесс, от области, в которой колебания еще не возникли.

Геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе, называется *волновой поверхностью*. Волновую поверхность можно провести через любую точку пространства, охваченного волновым процессом. Следовательно, волновых поверхностей существует бесконечное множество, в то время как волновой фронт в каждый момент времени только один. Волновые поверхности неподвижны, фронт волны все время перемещается.

Форма фронта волны определяет типы волн. *Плоской* называется волна, фронт которой является плоскостью. Если фронтом волны является сфера, волна называется *сферической* и т.д.

Плоская волна может быть возбуждена в том случае, когда источником колебаний в упругой среде является плоское тело, размеры которого значительно больше длины волны. Сферическая волна может быть получена, если источником колебаний является материальная точка.

Пусть волна распространяется вдоль оси Ox . Обозначим через y смещение точки из положения равновесия. Волновой процесс будет известен, если знать, каково значение y в каждый момент времени для каждой точки прямой, вдоль которой распространяется волна. Иначе говоря, надо знать смещение точки y как функцию времени и координаты равновесного положения точек: $y = y(x, t)$.

Пусть известна скорость распространения волны \vec{v} (\vec{v} направлена в сторону положительного направления оси x , рис.15).

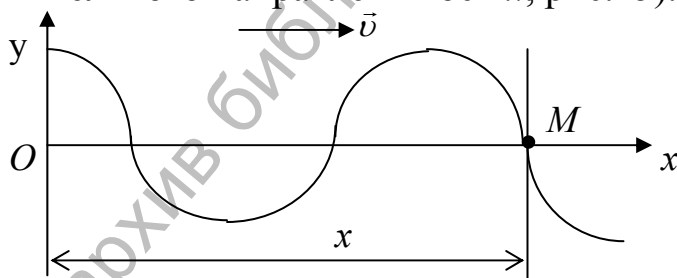


Рис. 15

Для начала координат O : $y_0 = y_m \cos \omega t$. До точки M колебания дойдут за время $\tau = \frac{x}{v}$. Точка M будет колебаться по тому же закону, но в момент времени t она имеет смещение, которое имела частица o в момент времени $t - \tau = t - \frac{x}{v}$. Таким образом, $y = y_m \cos \omega(t - \frac{x}{v})$. Это и есть уравнение волны.

Оно определяет смещение какой-то точки M с координатой x в момент времени t . Заметим, что амплитуда колебаний во всех точках одна и та же. В случае плоской волны это наблюдается, если энергия волны не поглощается средой.

Зафиксируем какое-либо значение фазы волны, предполагая, что $\omega(t - \frac{x}{v}) = const$. Это уравнение дает связь между временем (t) и координатой точки (x), в которой зафиксированное значение фазы осуществляется в данный момент. Продифференцируем обе части этого уравнения по времени: $\omega - \omega \frac{1}{v} \frac{dx}{dt} = 0$. Выразим из полученной формулы v : $\omega(1 - \frac{1}{v} \frac{dx}{dt}) = 0$; $1 = \frac{1}{v} \frac{dx}{dt}$;

$v = \frac{dx}{dt}$. Производную $\frac{dx}{dt}$ называют фазовой скоростью (скоростью перемещения данного значения фазы). Таким образом, скорость распространения волны v есть скорость перемещения фазы. Если волна распространяется в направлении, обратном тому, в котором отсчитывается расстояние x , то мы будем иметь (меняется знак скорости): $y = y_m \cos \omega(t + \frac{x}{v})$.

Механические волны в упругой среде с частотой в интервале от 17 до 20000 Гц, называют *звуковыми* или просто *звуком*. Учение о звуке – *акустика*.

В воздухе, как и во всяком другом газе, могут распространяться продольные механические волны. Они представляют собой чередующиеся сгущения и разрежения газа (воздуха). Если звуковые волны, распространяющиеся в воздухе, имеют частоту в пределах от 17 до 20000 Гц, то, они воспринимаются человеческим ухом.

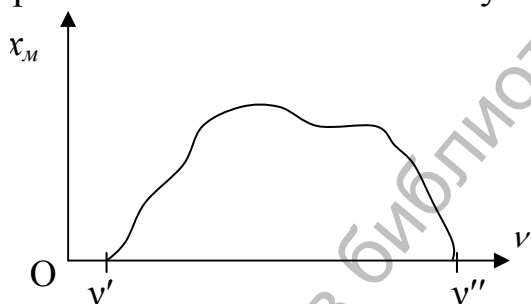


Рис. 16

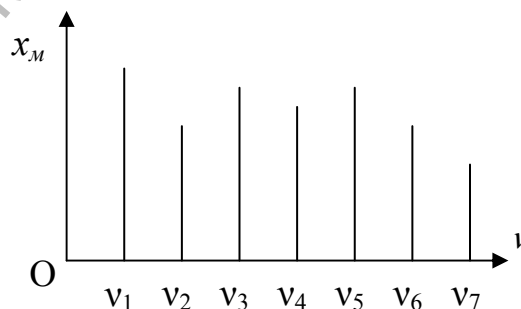


Рис. 17

Если частота механических волн меньше 17 Гц, то их называют *инфразвуком*, а при частотах волн больше 20000 Гц они называются *ультразвуком*. Указанное деление звуковых волн связано с физиологическими особенностями человеческого органа слуха – уха. С физической же точки зрения все колебания ничем специфическим не отличаются друг от друга. В субъективном звуковом восприятии различают три характеристики звука: *высота*, *тембр*, *громкость*. Высота звука определяется его частотой: чем больше частота, тем выше звук. Тембр звука определяется характером колебаний воздуха. Всякий реальный звук представляет собой не простое гармоническое колебание, а является сложным колебанием. Набор частот колебаний, присутствующих в данном звуке, называется его акустическим спектром. Если в звуке присутст-

вуют колебания всех частот в некотором интервале от ν' до ν'' , то спектр называется сплошным (рис. 16). Если звук состоит из колебаний дискретных частот $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n$, то спектр называется линейчатым (рис. 17).

Сплошным акустическим спектром обладают шумы. Колебания с линейчатым спектром вызывают ощущение звука с более или менее определенной высотой. Такой звук называется тональным. Высота тонального звука определяется основной (наименьшей) частотой. Это так называемый основной тон. Обертоны и определяют окраску (тембр) звука.

Объективная громкость (сила звука) определяется количеством энергии, переносимой распространяющейся звуковой волной в единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Сила звука пропорциональна квадрату амплитуды волны и квадрату ее частоты. Однако такой объективной оценке силы звука не соответствует субъективная оценка громкости, основанная на непосредственном ощущении. Дело в том, что наше ухо не одинаково чувствительно к звукам различной высоты, т.е. различной частоты.

Для того чтобы звуковая волна воспринималась ухом, необходимо, чтобы сила звука превышала некоторую минимальную величину, называемую порогом слышимости. Звук, сила которого лежит ниже порога слышимости, ухом не воспринимается. Порог слышимости различен для различных частот. Наиболее чувствительно человеческое ухо к частотам от 1000 до 4000 Гц.

Мерой механического движения материальной точки (тела) является *импульс*. Импульс материальной точки определяют как произведение ее массы на скорость: $\vec{p} = m\vec{v}$. Релятивистский импульс определяется по формуле

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \text{ При } \frac{v}{c} \ll 1 \quad \vec{p} = m_0\vec{v}.$$

Импульс системы материальных точек равен векторной сумме импульсов тел, составляющих систему: $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$.

Однако не во всех случаях импульс как мера механического движения пригодна для оценки изменения движения тела. Известно, что в природе происходит процесс превращения одной формы движения в другую. Механическое движение может преобразовываться в такие виды движения, как тепловое, электромагнитное. Все формы движения могут быть количественно определены одной и той же мерой, которая называется *энергией*. Мерой энергии, переданной от одного тела к другому или преобразованной из одного вида в другой, является физическая величина, называемая *работой*.

Работа – это мера передачи механического движения от одного тела к другому в процессе их взаимодействия или преобразования механического движения в другие виды движения.

Кинетическая энергия – энергия, которой обладают движущиеся тела. Кинетическая энергия материальной точки массой m , движущейся со скоростью v , равна $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$. По такой же формуле определяется кинетическая энергия тела, которое движется поступательно. Кинетическая энергия в релятивистской механике определяется как разность энергий, которыми обладает тело в состоянии движения и в состоянии покоя: $E_k = mc^2 - m_0c^2$.

С учетом зависимости массы тела от скорости выражение для определения E_k имеет вид $E_k = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$.

Чтобы рассчитать кинетическую энергию тела, вращающегося вокруг неподвижной оси с угловой скоростью ω , необходимо мысленно разбить это твердое тело на бесконечно большое число бесконечно малых элементов массой Δm_k , движущихся по окружностям радиуса r_k со скоростями v_k . Для каждого такого элемента кинетическая энергия равна $\Delta E_k = \frac{\Delta m_k \cdot v_k^2}{2}$.

Полная энергия этого тела будет равна арифметической сумме кинетических энергий всех элементов: $E_k = \sum \Delta E_k = \sum \frac{\Delta m_k \cdot v_k^2}{2}$. Воспользуемся связью между линейной и угловой скоростями $v_k = \omega \cdot r_k$. После подстановки получаем: $E_k = \sum \frac{\Delta m_k \omega^2 r_k^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \sum \Delta m_k r_k^2$. Известно, что $\sum \Delta m_k r_k^2 = I$ – момент инерции тела относительно рассматриваемой оси. Таким образом, получаем, что $E_k = \frac{I\omega^2}{2}$. Если кинетическая энергия изменяется от значения $E_{k,1}$ до значения $E_{k,2}$, то совершаемая при этом работа $A_{1,2} = E_{k,2} - E_{k,1} = \Delta E_k$.

 *Вопросы для самоконтроля:*

1. Какие модели вводятся для описания механического движения?
2. Какие физические величины характеризуют механическое движение?
3. Что понимают под скоростью материальной точки?
4. Какие различают в кинематике скорости и как их определяют?
5. Что понимают под ускорением материальной точки?
6. Какие различают в кинематике ускорения и как их определяют?
7. Каковы существенные признаки поступательного механического движения?
8. Каковы существенные признаки вращательного механического движения?

9. Каковы существенные признаки колебательного механического движения?

10. Что понимают под уравнением движения?

11. Запишите уравнение прямолинейного равномерного движения.

12. Запишите уравнение прямолинейного равноускоренного движения.

13. Запишите уравнение колебательного движения.

14. Запишите уравнение волнового движения.

15. Что понимают под импульсом материальной точки (тела)?

16. Что понимают под кинетической энергией материальной точки (тела)?

4.2 ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тепловое движение материи, представляющее собой непрерывное и беспорядочное движение больших совокупностей частиц, из которых состоит вещество. Огромное число частиц, принимающих участие в тепловом движении, определяет качественное отличие законов этого движения от законов, описывающих механическое движение. Тепловое движение описывается законами статистической физики (молекулярно-кинетической теории).

В системе, состоящей из большого числа частиц, рассматриваются некоторые средние значения физических величин, характеризующих всю совокупность частиц в целом. Так, в газе различают среднее значение скоростей теплового движения молекул и их энергий. В твердом теле рассматривают среднюю энергию, приходящуюся на каждую степень свободы колебательного движения частицы. Все свойства системы частиц обусловлены не только индивидуальными особенностями самих частиц, но также особенностями совокупных движений и средними значениями динамических характеристик частиц.

Из известных состояний вещества газообразное является простейшим для его исследования с помощью молекулярно-кинетической теории, и в настоящее время оно наиболее полно изучено. Моделью газа является *идеальный газ* – газ, размеры молекул которого и их взаимодействие при данных условиях можно не учитывать. При взаимном столкновении и соударении со стенками сосудов молекулы идеального газа ведут себя как абсолютно упругие шары диаметром d (эффективный диаметр молекулы).

подавляющую часть времени каждая молекула движется свободно, претерпевая иногда упругие соударения с другими молекулами или со стенками сосуда. Реальные газы при нормальных условиях очень близки к такой модели.

При ударе о стенку сосуда молекула сообщает ей импульс, численно равный изменению импульса молекулы. Удары молекул и обуславливают давление газа на стенки ограничивающего его сосуда $p = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle$, где $\langle v^2 \rangle$ – среднее значение квадрата скорости, ρ – плотность газа.

Корень квадратный из среднего значения квадрата скорости молекул называется *среднеквадратичной скоростью*: $\langle v \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$. Следует отметить, что $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ не равна средней арифметической скорости, равной:

$$\langle v \rangle = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_z}{z} = \frac{\sum_{i=1}^z v_i}{z}.$$

Итак, давление газа на стенки сосуда, в котором он находится, определяется природой газа, его плотностью и скоростью молекул. Полученное соотношение называется *основным уравнением молекулярно-кинетической теории*. Если учесть, что $\frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} = \langle E_k \rangle$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы, то $p = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle$, где m_0 – масса молекулы.

Для одного моля идеального газа: $pV_\mu = RT$; $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$, где M – масса моля газа; для средней кинетической энергии поступательного движения одной молекулы: $\langle E_k \rangle = \frac{3RT}{2N_A} = \frac{3}{2} kT$. Это одно из важнейших уравнений молекулярно-кинетической теории: *Кинетическая энергия идеального газа не зависит от его природы и определяется только температурой газа. С другой стороны, абсолютная температура с точностью до постоянного множителя $\frac{3}{2} k$ равна средней кинетической энергии поступательного движения молекул идеального газа.* Одноатомная молекула имеет три степени свободы ($i=3$). Значит, на одну степень свободы приходится энергия $\frac{1}{2} kT$. Тогда средняя энергия любой молекулы может быть выражена так: $\langle E \rangle = \frac{i}{2} kT$

Распределение молекул идеального газа по скоростям поступательного движения было изучено Дж. Максвеллом. Он установил закон, позволяющий определить, какое число молекул dN из общего их количества N молекул идеального газа в единице объема обладает при данной температуре скоростями, лежащими в интервале от v до $v + dv$.

Этот закон имеет вид: $dN = N \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \cdot 4\pi v^2 dv$. Здесь m_0 – масса молекулы (m_0 считается одинаковой для всех молекул газа), k – постоянная Больцмана. Из этого закона следует, что при $v \rightarrow 0$ и $v \rightarrow \infty$, $dN \rightarrow 0$. Графическое изображение распределения молекул по скоростям имеет следующий вид (рис. 18): $\frac{dN}{N \cdot dv}$ – относительное число молекул в

единичном интервале скоростей: $\frac{dN}{N \cdot dv} = \left(\frac{m_0}{2\pi \cdot kT} \right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \cdot 4\pi \cdot v^2$.

Из этой формулы можно определить наиболее вероятную скорость молекул, т.е. скорость, которой обладает наибольшее количество молекул при данной температуре.

Средняя наиболее вероятная скорость $\langle v_{\text{в.п.}} \rangle = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$. Средняя арифметическая скорость молекул равна: $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$. Таким

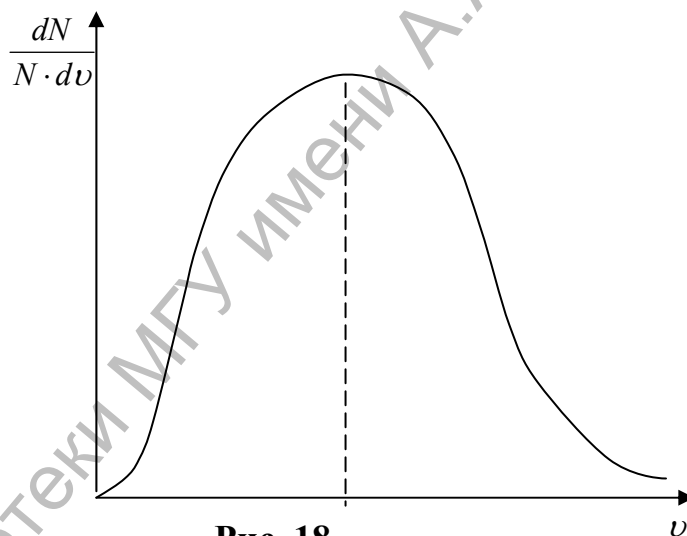


Рис. 18

образом, между тремя видами скоростей молекул газа при одних и тех же условиях имеет место соотношение: $\langle v_{\text{к.с.}} \rangle > \langle v \rangle > \langle v_{\text{в.п.}} \rangle$.

Молекулы реального газа имеют конечные размеры и при тепловом движении непрерывно соударяются друг с другом. Между двумя последовательными соударениями, двигаясь равномерно и прямолинейно, молекулы проходят некоторое расстояние l_i , называемое длиной свободного пробега λ . Средней длиной свободного пробега молекул называют величину,

определяемую по формуле: $\langle \lambda \rangle = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z l_i$, где z – число столкновений молекулы с другими молекулами в единицу времени.

Расчеты показывают, что если учесть движение всех молекул, то $\langle z \rangle = \sqrt{2} \pi \cdot d^2 \cdot n \cdot \langle v \rangle$. Так как за единицу времени молекулы проходят путь $\langle v \rangle$ и происходит $\langle z \rangle$ столкновений, то средняя длина свободного пробега молекул:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$$

Фактически молекулы любого газа всегда находятся в поле тяготения Земли. Если бы не было теплового движения молекул атмосферного воздуха, то все они падали бы на поверхность Земли, а если бы не было тяготения, то атмосферный воздух рассеялся бы по всей Вселенной. Тяготение и тепловое движение приводят газ в состояние, при котором его концентрация убывает с высотой. Но так как давление газа пропорционально концентрации его молекул ($p = nkT$), то оно убывает с увеличением высоты.

Атмосферное давление на некоторой высоте h обусловлено силой тяжести вышележащих слоев газа и определяется барометрической формулой

$p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$. Из этой формулы следует, что давление газа убывает с высотой тем быстрее, чем больше его молярная масса μ и чем ниже температура.

Наряду с механической энергией движения вещество обладает внутренней энергией (энергией хаотического движения и взаимодействия частиц тела).

Внутренняя энергия тела состоит из кинетической энергии хаотического движения молекул и других частиц вещества и потенциальной энергии их взаимодействия: $U = E_{кин} + E_{вз}$. Для одного моля идеального газа

$U_\mu = N_A \langle E_k \rangle = N_A \cdot \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} RT$. Для газа массой m $U = \frac{m}{M} U_\mu = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} RT$,

т.е. энергия молекулярного движения газа определяется его температурой.

Существуют два способа изменения внутренней энергии тела: совершения им (или внешними силами над ним работы) и теплопередача. Количественной мерой теплопередачи является количество теплоты (Q).

Количество теплоты есть мера переданной телу или отданной им внутренней энергии (энергии хаотического движения) без совершения работы.

Из опыта известно множество примеров превращения механической энергии в энергию теплового движения и наоборот. Опыт показывает, что этот переход совершается в эквивалентных количествах. Но так как тепловое движение есть в конечном счете тоже механическое движение отдельных частиц, то при всех этих превращениях должен соблюдаться закон сохранения энергии с учетом энергии не только внешних, но и внутренних движений. Отсюда следует вывод, что количество теплоты, сообщаемое телу, идет на увеличение его внутренней энергии и на совершение телом работы: $\Delta Q = \Delta U + A$



Вопросы для самоконтроля:

1. Какие сложились подходы к изучению теплового движения вещества?
2. Каково соотношение между средней квадратичной, средней и наиболее вероятной скоростью движения молекул?

3. По какой формуле определяется среднее значение кинетической энергии любой молекулы?
4. Какую физическую величину называют средней длиной свободного пробега молекул, по какой формуле она определяется?
5. По какой формуле определяется число столкновений молекулы с другими молекулами в единицу времени?
6. Какое уравнение называют основным уравнением МКТ?
7. По какой формуле определяется зависимость атмосферного давления от высоты над поверхностью Земли?
8. Что понимают под внутренней энергией тела?

4.3 ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИИ

Под *электромагнитным движением* понимают изменение с течением времени состояния системы электрически заряженных частиц или электромагнитного поля. Видами электромагнитного движения материи являются:

- постоянный и переменный электрический ток;
- электромагнитные колебания и волны;
- индуцирование магнитного поля электрическим током;
- индуцирование электрического поля изменяющимся магнитным полем.

Упорядоченное движение заряженных частиц называют *электрическим током*. Различают постоянный, пульсирующий и переменный электрический ток. Особенности постоянного электрического тока описываются законом Ома. Закон Ома в дифференциальной форме имеет вид: $\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E}$, где γ – удельная электрическая проводимость среды, а величина $\rho = \frac{1}{\gamma}$ – удельное электрическое сопротивление среды.

Этот закон выводится в классической электронной теории электропроводности металлов при следующих двух предположениях:

- а) концентрация n_0 электронов проводимости не зависит от напряженности \vec{E} электрического поля в проводнике;
- б) средняя скорость упорядоченного движения электронов проводимости, приобретаемая ими под действием электрического поля во много раз меньше средней арифметической скорости их теплового движения.

Для средней скорости упорядоченного движения электронов проводимости в классической электронной теории получают $v = \frac{n_0 e^3 \langle \lambda \rangle}{2 m_0 \langle \nu \rangle}$, где m_0 –

масса электрона, $\langle \lambda \rangle$ – средняя длина свободного пробега, $\langle v \rangle$ – средняя арифметическая скорость теплового движения электронов, e – абсолютная величина заряда электрона.

В произвольной точке участка проводника, содержащего источник электрической энергии, существует электростатическое поле кулоновских сил с напряженностью \vec{E}_κ и поле сторонних сил с напряженностью \vec{E}_{cm} . Напряженность результирующего поля $\vec{E} = \vec{E}_\kappa + \vec{E}_{cm}$. По закону Ома, плотность тока $\vec{j} = \frac{1}{\rho} (\vec{E}_\kappa + \vec{E}_{cm})$.

Для участка цепи между точками (сечениями) 1 и 2:

$$\int_1^2 \vec{j} \cdot \rho d\vec{l} = \int_1^2 \vec{E}_\kappa d\vec{l} + \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l}; \quad \int_1^2 \vec{j} \rho \frac{S}{S} d\vec{l} = \int_1^2 \vec{E}_\kappa d\vec{l} + \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l}; \quad I \int_1^2 \rho \frac{dl}{S} = \int_1^2 \vec{E}_\kappa d\vec{l} + \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l},$$

где $d\vec{l}$ – вектор, модуль которого равен длине dl малого участка цепи и направленный по касательной к проводнику в ту же сторону, что и вектор плотности тока; S – плотность поперечного сечения проводника; $I = jS$ – сила тока.

$\int_1^2 \vec{E}_\kappa d\vec{l} = \varphi_1 - \varphi_2$, где φ_1 и φ_2 – потенциалы в точках 1 и 2 проводника.

$\int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l} = \varepsilon_{12}$ – электродвижущая сила (ЭДС), действующая на участке

цепи 1-2. Электродвижущая сила ε_{12} численно равна работе, совершаемой сторонними силами при перемещении по проводнику единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2. Работа совершается за счет энергии, затрачиваемой в источнике. Поэтому ε_{12} называют электродвижущей силой источника электрической энергии, включенного на участке цепи 1-2.

Физическую величину, численно равную работе, совершаемой результирующим полем кулоновских и сторонних сил при перемещении вдоль цепи из точки 1 в точку 2 единичного положительного заряда называют напряжением:

$$U_{12} = \int_1^2 (\vec{E}_\kappa + \vec{E}_{cm}) d\vec{l} = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} \quad \text{или} \quad U_{12} = \int_1^2 \vec{E}_\kappa d\vec{l} + \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}$$

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}.$$

Напряжение на концах участка цепи совпадает с разностью потенциалов только в том случае, если на участке не действуют сторонние силы

$\int_1^2 \rho \frac{dl}{S} = R_{12}$ – сопротивление R_{12} участка цепи между сечениями 1 и 2. Для

однородного проводника постоянного сечения $\rho = const$, $S = const$ и

$R_{12} = \rho \frac{l_{12}}{S}$, где l_{12} – длина проводника между сечениями 1 и 2. Обобщенный

закон Ома для произвольного участка цепи: $IR_{12} = U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}$.

Если внутри источника ток идет от отрицательного полюса к положительному (напряженность поля сторонних сил в источнике совпадает по направлению с током на участке цепи), то ЭДС этого источника считается положительной. Если ток внутри источника идет от положительного полюса к отрицательному, то ЭДС этого источника считается отрицательной.

В неразветвленной замкнутой электрической цепи сила тока во всех сечениях одинакова, а сама цепь является участком с совпадающими концами (точки 1 и 2 совпадают). В такой цепи $\varphi_1 = \varphi_2$ и $R_{12} = R_0$ – общее сопротивление всей цепи. Закон Ома для замкнутой электрической цепи $\varepsilon = IR_0$, где ε – алгебраическая сумма всех ЭДС, приложенных в цепи.

Если замкнутая цепь состоит из источника электрической энергии с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r , а сопротивление внешней части цепи равно R , то закон Ома имеет вид: $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$. Разность потенциалов на клеммах источника равна $\varphi_1 - \varphi_2 = \varepsilon - Ir$. Если цепь разомкнута, то электрического тока в ней нет ($I = 0$), а разность потенциалов на клеммах источника равна его ЭДС: $\varphi_1 - \varphi_2 = \varepsilon$.

Вольтметр, подключенный параллельно участку 1-2 электрической цепи постоянного тока, измеряет разность потенциалов на концах этого участка, а не напряжение. Это следует из обобщенного закона Ома, записанного для участка цепи вольтметра, на котором нет ЭДС.

Расчет сложных (разветвленных) цепей состоит в отыскании токов в различных участках таких цепей по заданным сопротивлениям участков цепи и приложенных в них ЭДС. Для этого успешно применяются правила Кирхгофа (правило узлов и правило контуров).

Первое правило: алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна 0: $\sum_{i=1}^n I_i = 0$. Узлом называется точка разветвленной цепи, в которой сходится более двух проводников. Положительными считаются токи, входящие в узел, отрицательными – токи, выходящие из узла.

Второе правило Кирхгофа (правило контуров): в любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма произведений сил токов I_i на сопротивления R_i соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме ЭДС в

контуре: $\sum_{i=1}^{n_1} I_i R_i = \sum_{i=1}^{n_2} \varepsilon_i$, где n_1 – число отдельных участков, на которые кон-

тур разбивается узлами, n_2 – число источников тока в рассматриваемом контуре.

Для применения второго правила Кирхгофа выбирается определенное направление обхода контура (по ходу часовой стрелки или против него). Положительными считаются токи, направление которых совпадает с направлением обхода контура.

Электрический ток в электролитах сопровождается явлением *электролиза* – выделением на электродах составных частей растворенных веществ или других веществ, являющихся результатом вторичных реакций на электродах.

В соответствии с первым законом Фарадея (электролиза) масса m вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна электрическому заряду q , прошедшему через электролит: $m = kq = kIt$, если через электролит пропускается в течение времени t постоянный ток с силой I . Коэффициент пропорциональности k называется электрохимическим эквивалентом вещества.

Второй закон Фарадея (второй закон электролиза): электрохимические эквиваленты различных веществ относятся как их химические эквиваленты

k_x , т.е. $\frac{k_1}{k_2} = \frac{k_{1x}}{k_{2x}}$. Химическим эквивалентом вещества называется отношение молярной массы M вещества к его валентности z . Тогда электрохимический эквивалент вещества определяется по формуле: $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{z}$, где F – постоянная Фарадея.

Объединенный закон Фарадея (объединенный закон электролиза) имеет вид: $m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot q$.

Для поддержания в цепи постоянного тока сторонние силы совершают работу $A = IU \cdot t = I^2 R \cdot t$, называемую работой электрического тока. Энергия электрического тока в проводнике непрерывно преобразуется в другие виды энергии. Действительно, опыт показывает, что проводник, с электрическим током, нагревается, и в нем выделяется количество теплоты Q . Если при этом нет преобразований в другие виды энергии (химическую, механическую и т.д.), то по закону сохранения энергии $A = Q$ или

$$Q = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \text{ (закон Джоуля-Ленца).}$$

В 1831 г. Фарадей установил, что во всяком замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром, возникает электрический ток, который называется *индукционным*. Возникновение в контуре индукционного электрического то-

ка свидетельствует о возникновении индукционного электрического поля. Это явление называют явлением электромагнитной индукции. Его проявление не зависит от способа изменения потока магнитной индукции и может быть осуществлено (продемонстрировано) различными способами.

Экспериментально доказано, что ЭДС индукции в СИ $\xi_i = -\frac{d\Phi_B}{dt}$. Оказывается, что ЭДС электромагнитной индукции возникает не только в замкнутом проводнике, но и в отрезке проводника, пересекающем при своем движении линии магнитной индукции, а также в сплошных массивных проводниках (токи Фуко).

Электрический ток I в любом проводящем контуре создает пронизывающий этот контур магнитный поток $\Phi_c = L \cdot I$, где L – индуктивность контура. При изменениях силы тока или индуктивности контура будет изменяться также и Φ_c . Поэтому в контуре будет индуцироваться ЭДС. Это явление называется самоиндукцией. Следовательно ЭДС самоиндукции $\langle \varepsilon_c \rangle = -\frac{\Delta\Phi_c}{\Delta t} = -\frac{\Delta(LI)}{\Delta t}$. Единица индуктивности в СИ: $[L] = 1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ А}}$. L зависит от геометрии контура (т.е. его формы и размеров) и от магнитных свойств (от μ) окружающей среды

Явление электромагнитной индукции позволяет преобразовать энергию механического движения в энергию электрического тока. Так при вращении рамки в однородном магнитном поле ($B = \text{const}$) вокруг оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной магнитной индукции \vec{B} , с угловой скоростью ω (рис. 19) в ней возникает ЭДС индукции, мгновенное значение которой: $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_B}{dt} = BS\omega \cdot \sin \omega t = \varepsilon_0 \cdot \sin \omega t$, где площадь рамки, $\varepsilon_0 = BS\omega$ – амплитудное значение ЭДС, которая изменяется по величине и направлению.

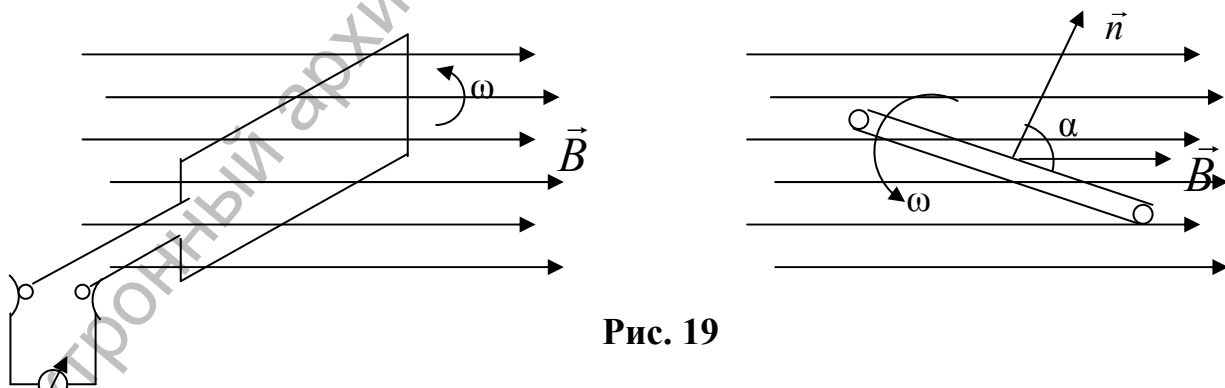


Рис. 19

Электрический ток, создаваемый этой ЭДС, называется синусоидальным переменным электрическим током. Такая вращающаяся рамка представляет собой простейшую модель генератора переменного тока.

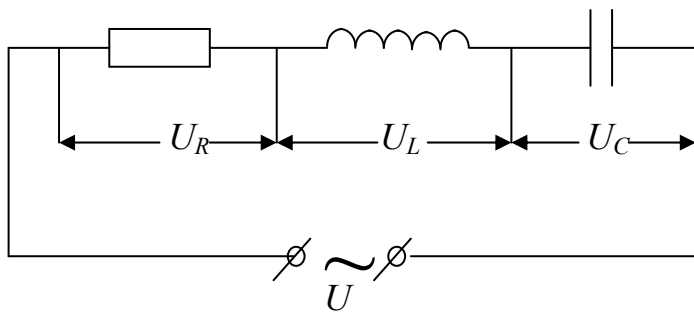


Рис. 20

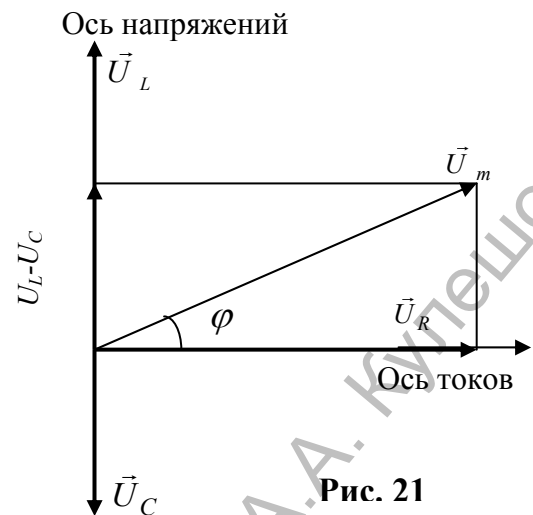


Рис. 21

Для электрической цепи, схема которой приведена на рисунке 20, $\vec{U}_m = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$. Из рисунка 21 следует, что $U_m^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$ или $U_m^2 = (RI_m)^2 + \left[\left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) I_m \right]^2$, откуда $I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}$. Это закон

Ома для участка цепи переменного тока, состоящей из последовательно соединенных резистора, катушки индуктивности и конденсатора.

$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$ – полное сопротивление участка цепи, где

$\omega \cdot L = X_L$ – индуктивное сопротивление цепи переменного тока, $\frac{1}{\omega \cdot C} = X_C$ емкостное сопротивление цепи переменного тока. При $\omega L > \frac{1}{\omega \cdot C}$ электрический ток отстает по фазе от напряжения.

Сила переменного тока $i = I_0 \cdot \cos(\omega t - \varphi)$. При этом $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$. При

$\omega L < \frac{1}{\omega \cdot C}$ электрический ток опережает напряжение по фазе на величину φ .

В электрической цепи, содержащей катушку индуктивности (индуктивность) и конденсатор, могут возникать электромагнитные колебания. Такая цепь называется *колебательным контуром* (рис. 22). Свободные электромагнитные колебания в колебательном контуре, активное сопротивление которого равно нулю (*идеальном колебательном контуре*) описываются дифференциальным уравнением $\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot q = 0$. Решение этого уравнения

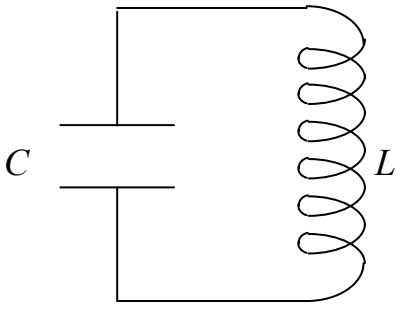


Рис. 22

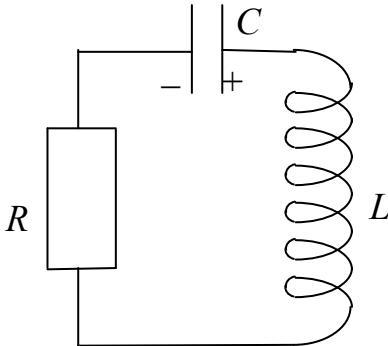


Рис. 23

имеет вид: $q = q_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \alpha)$. Заряд на обкладках конденсатора изменяется по гармоническому закону с частотой $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Эта частота называется *собственной частотой* контура. Период этих колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$. Зная q ,

можно определить и напряжение на конденсаторе: $U = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos(\omega \cdot t + \alpha) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \alpha)$, где

$U_0 = \frac{q_0}{C}$. Электрический ток в колебательном контуре изменяется по закону

$$i = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \alpha) = I_0 \cdot \cos\left(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right),$$

где $I_m = \omega_0 q_m$.

Всякий реальный контур обладает активным сопротивлением (рис. 23).

Дифференциальное уравнение свободных затухающих электромагнитных колебаний в таком контуре: $L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = 0$.

Пусть $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$; $\frac{R}{L} = 2\beta$. Тогда $\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$. Решением этого уравнения является уравнение: $q = q_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega t + \alpha)$. Это уравнение затухающих колебаний. Частота затухающих колебаний $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$

меньше частоты собственных колебаний $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$, а $T_{затух} > T_{собств}$.

Для получения незатухающих колебаний необходимо извне подводить энергию, компенсирующую потери в колебательном контуре. Для осуществления таких колебаний необходимо включить в колебательный контур источник переменного напряжения. Электромагнитные колебания в колебательном контуре, содержащем источник периодически изменяющейся ЭДС, называют *вынужденными*.

Дж. Максвелл предположил, что изменяющееся со временем магнитное поле обуславливает появление в пространстве вихревого электрического поля (независимо от присутствия в этом пространстве проводящего контура). Наличие контура лишь позволяет обнаружить существование в соответствующих точках пространства электрического поля по возникновению

в нем индукционного тока. Таким образом, по идее Дж. Максвелла, изменяющееся со временем магнитное поле порождает изменяющееся электрическое поле и наоборот. Эти поля оказываются неразрывно связанными друг с другом: они образуют единое *электромагнитное поле*.

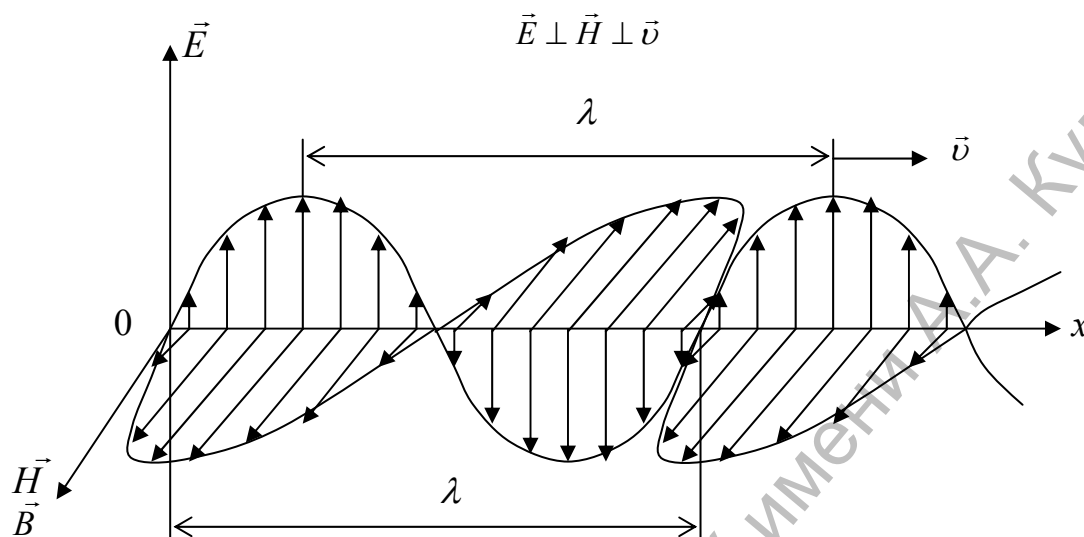


Рис. 24

В окружающем пространстве возникает последовательность взаимных превращений электрического и магнитного полей, распространяющихся от одной точки к другой точке. Этот процесс будет периодическим во времени и пространстве и, следовательно, представляет электромагнитную волну.

Электромагнитная волна представляет собой поперечную волну, в которой вектора \vec{E} и \vec{B} перпендикулярны друг к другу и в свою очередь перпендикулярны к направлению ее распространения (\vec{v}) (рис.24).

В распространяющейся волне колебания электрических и магнитных полей совершаются в одинаковых фазах. Расстояние между двумя точками, колебания в которых отличаются по фазе на 2π (например, между двумя соседними максимумами), называется *длиной электромагнитной волны*. Она равна расстоянию, на которое распространяется волна за время одного периода колебаний: $\lambda = v \cdot T$.

Из уравнений Максвелла следует, что скорость электромагнитной волны в вакууме равна $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 299792458 \frac{м}{с}$ ($\sim 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$), а в любой среде $v = \frac{c}{n}$,

где $n = \sqrt{\epsilon \mu}$ – показатель преломления среды.

Развитие учения об электромагнитном поле привело к установлению электромагнитной теории света, согласно которой свет представляет собой электромагнитные волны, распространяющиеся в вакууме со скоростью $c = 3 \cdot 10^8 м/с$ ($299792458,0 \pm 1,2$).

В электромагнитной волне “колеблются” два вектора \vec{E} и \vec{B} . Уравнения плоской электромагнитной волны имеют вид: $\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot \cos\left(t - \frac{x}{v}\right)$; $\vec{B} = \vec{B}_0 \cdot \cos\left(t - \frac{x}{v}\right)$. Опыт показывает, что физиологическое, фотохимическое, фотоэлектрическое и другие действия света вызываются колебаниями электрического вектора \vec{E} . Этот вектор называют *световым вектором* и при расчетах пользуются только первым соотношением, т.е. $E = E_m \cdot \cos\left(t - \frac{x}{g}\right)$.

Соответствующие видимому свету электромагнитные волны имеют длину в интервале от 0,40 до 0,76 мкм. $\nu = (0,40 \div 0,75) \cdot 10^{15}$ Гц.

Спектр электромагнитных волн не ограничивается этим участком. Поэтому возникает вопрос, что наиболее характерно для оптики как науки. Это наиболее характерное состоит в том, что в оптических методах практически всегда имеет место то или иное образование изображений, которое достигается с помощью определенных оптических систем из зеркал, линз, призм и т.д. В настоящее время под словом “свет” в широком смысле этого слова подразумеваются электромагнитные волны с длинами волн в диапазоне: $1 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-2}$ м.

В обычных условиях в пространстве распространяется одновременно бесчисленное множество электромагнитных волн от различных источников излучения или волн, отраженных и рассеянных поверхностями предметов. Электромагнитные волны распространяются независимо друг от друга (принцип независимости световых лучей)

Ни глаз, ни какой-либо иной приемник световой энергии не может регистрировать такие частые изменения энергии, и поэтому они регистрируют усредненный по времени световой поток. Среднее по времени значение светового потока называется интенсивностью света. Интенсивность света I пропорциональна квадрату амплитуды световой волны E_m : $I \sim E_m^2$.

Пусть две волны одинаковой частоты, накладываясь друг на друга, возбуждают в некоторой точке пространства колебания одинакового направления: $E_{m1} \cos(\omega t - \alpha_1)$ и $E_{m2} \cos(\omega t - \alpha_2)$, где $\alpha_1 = \omega \frac{x_1}{v}$; $\alpha_2 = \omega \frac{x_2}{v}$. Сложение этих колебаний можно произвести методом векторных диаграмм (рис. 25).

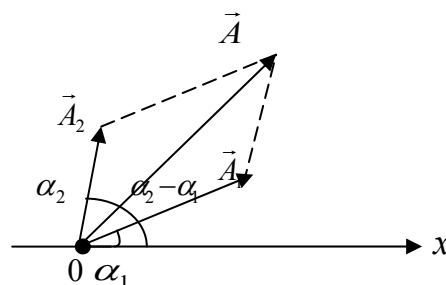


Рис. 25

Амплитуда результирующего колебания в данной точке определяется по теореме косинусов: $E_m^2 = E_{m1}^2 + E_{m2}^2 + 2E_{m1} E_{m2} \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$.

Если разность фаз ($\alpha_2 - \alpha_1$) возбуждаемых волнами колебаний остается постоянной во времени, то волны называются *когерентными*.

Источники таких волн также называются когерентными. В случае некогерентных волн ($\alpha_2 - \alpha_1$) непрерывно изменяется. Среднее по времени значение $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) = 0$. В этом случае $\overline{E_m^2} = \overline{E_{m1}^2} + \overline{E_{m2}^2}$. Это значит, что интенсивность, наблюдаемая при наложении некогерентных волн, равна сумме интенсивностей, создаваемых каждой из волн в отдельности: $I = I_1 + I_2$.

В случае же когерентных волн $\cos(\alpha_2 - \alpha_1)$ имеет постоянное во времени для каждой точки пространства значение. Тогда $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$.

В тех точках пространства, для которых $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) > 0$, $I > I_1 + I_2$. Если же $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) < 0$, то $I < I_1 + I_2$.

Таким образом, при наложении когерентных световых волн происходит перераспределение интенсивности света в пространстве, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Это явление называется *интерференцией волн*. Особенно отчетливо проявляется интерференция в том случае, когда интенсивность обеих интерферирующих волн одинакова ($I_1 = I_2$): $I_{\min} = 0$; $I_{\max} = 4I_1$.

Для некогерентных волн в этом случае $I = 2I_1$.

Огибание волнами препятствий, размеры которых сравнимы с длиной волны, называют дифракцией. *Дифракция* – это проникновение света в область геометрической тени. Явление дифракции может быть объяснено с помощью принципа Гюйгенса: *Каждую точку фронта волны можно рассматривать как источник новых вторичных сферических волн*.

Однако принцип Гюйгенса не дает никаких указаний об амплитуде, а, следовательно, и об интенсивности волн, распространяющихся в различных направлениях. Этот недостаток был устранен Френелем (1818 год), который дополнил принцип Гюйгенса представлением об интерференции вторичных волн.

Согласно идее Френеля, вторичные полусферические элементарные волны являются когерентными и при поиске в некоторой точке экрана результирующей интенсивности необходимо учесть интерференцию всех этих вторичных волн. Измененный таким образом принцип Гюйгенса называют принципом Гюйгенса-Френеля.

На основе принципа Гюйгенса-Френеля можно дать объяснение всем явлениям дифракции, а также объяснить с волновой точки зрения прямолинейное распространение света при неограниченном фронте световой волны.



Вопросы для самоконтроля:

1. Что понимают под электромагнитным движением материи?
2. Какие выделяют виды электромагнитного движения?

3. В чем отличие закона Ома в дифференциальной форме для однородного и неоднородного участка цепи?

4. В чем отличие закона Ома в интегральной форме для однородного и неоднородного участка цепи?

5. Какой электрический ток называют индукционным, при каких условиях он возникает?

6. Какой электрический ток называют переменным, при каких условиях он возникает?

7. Что понимают под электромагнитным колебанием?

8. Каким дифференциальным уравнением описываются незатухающие электромагнитные колебания?

9. Каким дифференциальным уравнением описываются незатухающие электромагнитные колебания?

10. Что понимают под электромагнитной волной?

11. Какое явление называют дифракцией электромагнитных волн?

12. Какое явление называют интерференцией электромагнитных волн?

4.4 ВЗАИМНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ЧАСТИЦ И ПОЛЯ

На уровне элементарных частиц нет четкой границы между полем и веществом. Происходят взаимопревращения поля и вещества. Так, например, фотоны могут превращаться в электронно-позитронные пары, а эти пары в процессе аннигиляции превращаются в фотоны.

Характерной особенностью мира элементарных частиц является взаимопревращаемость. Оказалось, что стабильность частиц – это исключение, особый случай, а правилом является нестабильность; почти все частицы нестабильны и самопроизвольно распадаются. Взаимопревращения частиц происходят как при спонтанных распадах, так и при столкновениях частиц и возможны при определенных условиях, определяемых правилом: разрешено все то, что не запрещают законы сохранения. Эти законы играют роль правил запрета, регулирующих взаимопревращения частиц.

Среди законов сохранения следует выделить законы сохранения энергии, импульса и электрического заряда. Эти три закона объясняют стабильность электрона. Из сохранения энергии и импульса следует, что суммарная масса покоя продуктов распада должна быть меньше массы покоя распадающейся частицы. Электрон мог бы распадаться только на нейтрино и фотоны. Но эти частицы электрически нейтральны. Поэтому электрон стабилен.

Существует много специфических «зарядов», сохранение которых регулирует взаимопревращения частиц: барионный заряд, лептонный заряд,

четность (пространственная, временная, зарядовая), странность, очарование и др. Некоторые из них не сохраняются в процессах, обусловленных слабым взаимодействием (четность, странность, очарование). Стабильность протона объясняется на основе закона сохранения барионного заряда.

Когда фотон сталкивается с протоном, нельзя однозначно предсказать, какое из следующих превращений произойдет:

$$\gamma + p \rightarrow p + \pi^0; \gamma + p \rightarrow n + \pi^+; \gamma + p \rightarrow p + \pi^+ + \pi^-; \gamma + p \rightarrow p + p + \bar{p}.$$

Можно говорить лишь о вероятности того или иного превращения. Нельзя точно предсказать момент распада той или иной частицы, можно говорить лишь о вероятности распада. Приводимое в таблицах время жизни частиц имеет вероятностную природу, оно усреднено по большому числу частиц. Если имеется несколько схем распада частицы, то нельзя точно предвидеть, по какой именно схеме произойдет распад данной частицы. Имеет смысл лишь вероятность реализации той или иной схемы распада.

Фундаментальные бозоны рассматриваются как возбуждения силовых полей. Если поля находятся в невозбужденном (основном) состоянии, то говорят о физическом вакууме, заполненном виртуальными частицами.

Виртуальная частица принципиально отличается от частицы, которую можно наблюдать в эксперименте. Она существует малое время Δt – настолько малое, чтобы энергия, определяемая соотношением неопределенностей $\Delta E \approx \frac{\hbar}{\Delta t}$, оказалось достаточной для появления массы, равной массе виртуальной частицы. Возникновение виртуальной частицы не требует специальных затрат энергии. Эти частицы рождаются как бы сами по себе, с тем, чтобы вскоре исчезнуть.

Физический вакуум часто рассматривают как пространство, в котором рождаются и уничтожаются миллиарды виртуальных частиц. Он обладает определенной энергией, соответствующей основному энергетическому состоянию полей, которая все время перераспределяется между виртуальными частицами. Однако воспользоваться энергией вакуума невозможно – ведь это есть наинизшее энергетическое состояние полей. При наличии внешнего источника энергии можно реализовать возбужденное состояние полей – тогда будут наблюдаться обычные частицы.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какой характерной особенностью обладают элементарные частицы?
2. Какие законы сохранения применяются для описания взаимопревращения частиц?
3. В чем состоит вероятностный характер превращения частиц?
4. Какие элементарные частицы называют виртуальными?

4.5 ОПИСАНИЕ ВИДОВ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Содержание обучения по описанию основных видов движения материи включен отдельными модулями в темы на первой и второй ступенях обучения физике. На второй ступени обучения физике все виды движения материи изучаются более полно по содержанию.

Представим описание свойств и особенностей физических видов движения материи в курсе физики средней общеобразовательной в виде таблицы (таблица 10).

Таблица 10

Физическое движение	Вид движения	Физическая величина, закономерность	Класс
Механическое	Особенности и свойства	Пройденный путь (s), перемещение ($\Delta \vec{r}$), импульс (\vec{p}), закон сохранения импульса, энергия (E), закон сохранения механической энергии	7, 9 9 9 7, 9
	Поступательное <ul style="list-style-type: none"> • равномерное прямолинейное • неравномерное • равноускоренное прямолинейное • криволинейное 	Скорость (\vec{v}), Уравнение движения. Средняя скорость ($\langle \vec{v} \rangle$). Мгновенная скорость (\vec{v}), ус- корение (\vec{a}), уравнение движения, уравнение скорости	7, 9 9 7, 9 9 9
	Вращательное равно- мерное	Угловая скорость ($\vec{\omega}$), центростремительное ускорение ($\vec{a}_ц$), период (T), частота (ν)	9
	Колебательное	Период (T), частота (ν) Урав- нение гармонических колеба- ний	11
	Волновое	Скорость (\vec{v}), частота (ν), пе- риод (T) и длина (λ) волны	11
Тепловое	Особенности и свойства	Внутренняя энергия (U) 1 и 2 закон термодинамики	8, 10 10
		Средняя квадратичная ско- рость ($\langle v_{кв} \rangle$)	10

Физическое движение	Вид движения	Физическая величина, закономерность	Класс
Электромагнитное	Постоянный электрический ток	Сила тока (I), закон Ома для однородного участка цепи, работа и мощность электрического тока (A , P), закон Джоуля-Ленца Закон Ома для полной электрической цепи	8, 10 10
	Явление электромагнитной индукции	Закон электромагнитной индукции	10
	Электромагнитные колебания	Период (T), частота (ν) уравнение гармонических колебаний	11
	Переменный электрический ток	Действующее значение силы (I_d) тока и напряжения (U_d)	11
	Электромагнитные волны	Скорость (\bar{v}), частота (ν), период (T) и длина (λ) волны	11
	Световые волны	Скорость (\bar{v}), частота (ν), период (T) и длина (λ) волны	11
Взаимное превращение частиц и поля		Законы сохранения (энергии, импульса, заряда)	11

Анализ типовой учебной программы по физике для учреждений, обеспечивающих получение общего среднего образования, показывает, что содержание обучения на первой и второй ступенях обучения физике отобрано с учетом основных дидактических принципов и идей.

Содержание обучения, включающее описание особенностей, проявления и взаимосвязи различных видов движения материи целесообразно выделить в качестве одной из основных идей систематизации предметных знаний по физике.

При этом имеет смысл расширить содержание обучения по изучению взаимопревращения отдельных видов движения материи и взаимного превращения элементарных частиц. Требуется также усиление гуманитарного аспекта содержания обучения физике и более полного раскрытия содержания структурных элементов физических знаний.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какие виды движения материи изучаются в 7-м классе?
2. Какие виды движения материи изучаются в 8-м классе?
3. Какие виды движения материи объема изучаются в 9-м классе?
4. Какие виды движения материи изучаются в 10-м классе?
5. Какие виды движения материи изучаются в 11-м классе?

5. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИХ ОПИСАНИЕ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

Понятие взаимодействия является фундаментальным для всей физической науки. Любой вид и форма движения материи есть изменение параметров ее состояния, и вызывается взаимодействием. Все проявления материи в виде окружающего нас вещества в стабильном состоянии, начиная с атомных ядер и атомов и заканчивая макроскопическими телами, есть не что иное, как системы в стационарных состояниях, свойства которых определяются внутренним взаимодействием.

Можно выделить два проявления взаимодействий, характерные для всей изученной пространственной области:

1) кратковременное, приводящее к изменению состояния и называемое рассеянием (например, столкновение упругих тел);

2) длительное, объединяющее отдельные материальные объекты в систему, находящуюся в устойчивом стационарном состоянии.

Все взаимодействия материи сводятся к одному из четырех основных видов: *гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое*. Фундаментальные взаимодействия (гравитационные, электромагнитные, сильные и слабые) различаются по ряду признаков, в том числе по расстояниям, на которых они проявляются, и по относительной интенсивности. Кроме того, взаимодействия различаются по специфическим законам сохранения и по «степени универсальности».

Так, гравитационные взаимодействия проявляются у всех частиц, электромагнитные же требуют наличия электрического заряда (и в гораздо меньшей степени выражены для нейтральных частиц с магнитным моментом). Сильные взаимодействия имеют место только у частиц, называемых адронами, и не проявляются у другой группы – лептонов. Слабые взаимодействия «универсальнее» сильных – они характерны и для лептонов.

Модель взаимодействия может быть построена на основе геометрической модели *пространства – времени – материи*. Взаимодействие есть не что иное, как изменение характеристик материальных точек и прежде всего передача энергии, импульса от одного объекта к другому. Поскольку дальнего действия нет, взаимодействие между ними осуществляется только посредством контакта. Это значит, что при взаимодействии на расстоянии имеется материальный посредник (физическое поле, частица), движущийся со скоростью меньшей скорости света. Такая модель взаимодействия является исходной для макроскопического и микроскопического уровней деления материи.

Все физические проявления взаимодействий в конечном счете сводятся к той или иной совокупности или последовательности элементарных ак-

тов взаимодействия в системах элементарных частиц. Это общая материальная основа, выражающая единство физического мира. В квантово-релятивистской модели элементарный акт взаимодействия не может быть ничем иным, как поглощением или испусканием одной частицей других элементарных частиц. До и после взаимодействия частицы свободны, взаимодействие же происходит в точке пространства в миг времени. Это обстоятельство весьма существенно, так как только такие локальные представления естественно согласуются с преобразованиями Лоренца, выражающими важнейшее свойство пространства-времени.

Взаимодействие ограничено законами сохранения, первая группа которых относится к таким, как энергия, импульс, момент импульса, четность. Для аддитивных величин их суммы составляют полные значения в системе; они и сохраняются при взаимодействии, так что величины количественно передаются от одних частиц к другим или ими наделяются новые, возникающие частицы. Это сумма энергий и (векторные) суммы импульса и момента импульса. Что касается четности, то она мультипликативна, т. е. для системы сохраняется произведение четностей. Сохраняются величины в замкнутой, или изолированной, системе, что означает учет всех частиц, принимающих участие во взаимодействии.

Кроме названной группы сохраняющихся величин, имеются и другие, такие, как электрический заряд, барионный и лептонный заряды, по видимому, не менее фундаментальные, чем геометрические.

В макромире не проявляются короткодействующие сильные и слабые взаимодействия, наблюдаются лишь гравитационные и электромагнитные. Благодаря наличию электрических зарядов двух знаков, возможно существование электрически нейтральных систем: макроскопические тела, состоящие из огромного количества заряженных частиц, как правило, в целом электрически нейтральны или несут сравнительно небольшие заряды. Поэтому решающее значение приобретает гравитационное взаимодействие. Оно определяет движение небесных тел и наряду с другими – их строение. Существенна сила тяготения и для движения всех макроскопических тел на Земле.

Особенности фундаментальных взаимодействий представим в виде следующей таблицы (таблица 11).

Таблица 11

<i>Взаимодействие</i>	<i>«Переносчики» взаимодействия</i>	<i>Интенсивность</i>	<i>Радиус (м)</i>	<i>Время (с)</i>
Сильное	глюоны	~ 1	$\sim 10^{-15}$	$\sim 10^{-23}$
Электромагнитное	фотоны	$1/137$	∞	$\sim 10^{-20}$
Слабое	бозоны	$\sim 10^{-10}$	$\sim 10^{-18}$	$\sim 10^{-13}$
Гравитационное	гравитоны	$\sim 10^{-38}$	∞	

Сильные и слабые взаимодействия вместе с электромагнитными ответственны за строение и свойства атомных ядер и элементарных частиц. Они обеспечивают процессы их взаимных превращений на последнем достигнутом структурном уровне деления материи.

В рамках геометрической модели взаимодействия существенны различия между квантами при конечном (сильные и слабые) и бесконечном (электромагнитные и гравитационные) радиусе взаимодействия. Для обеспечения бесконечного радиуса взаимодействия необходимы кванты со сколь угодно большим временем существования и, следовательно, со сколь угодно малой энергией. Но тогда взаимодействие осуществляется квантами без массы покоя. При конечном радиусе взаимодействия должно существовать минимальное значение энергии и соответственно массы частицы, являющейся «переносчиком» взаимодействия.

Взаимодействие тел (материальных частиц) описывается количественно с помощью силы и потенциальной энергии. Сила – это физическая величина, характеризующая (определяющая) взаимодействие тел. Из этого определения следует:

1. Сила – величина векторная, изображается направленным отрезком, причем, чем больше сила, тем длиннее направленный отрезок.

2. Следствие действия силы на материальную точку – изменение скорости материальной точки.

3. Если на материальную точку действует одновременно несколько сил: $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots$, то каждая из сил, независимо от других вызывает ускорение $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3, \dots$, а их совместное действие можно заменить одной силой $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$, называемой равнодействующей силой.

4. Если различные точки тела приобретают при взаимодействии различные ускорения, то это приводит к изменению формы тела, т.е. к его деформации. Таким образом, деформация – это вторичный эффект действия силы.

5. Равнодействующую силу можно находить только для сил, приложенных к одному телу или одной точке.

Силы взаимного действия обладают следующими особенностями (рис. 26):



Рис. 26

- ☑ силы $\vec{F}_{2,1}$ и $\vec{F}_{1,2}$ приложены к разным материальным точкам и могут взаимно уравновешиваться только в том случае, когда эти точки принадлежат одному и тому же твердому телу;
- ☑ силы $\vec{F}_{2,1}$ и $\vec{F}_{1,2}$ возникают одновременно и парами;
- ☑ силы $\vec{F}_{2,1}$ и $\vec{F}_{1,2}$ имеют одну и ту же природу.

Из третьего закона Ньютона следует, что в любой механической системе материальных точек геометрическая сумма всех сил взаимодействия точек (внутренних сил) равна нулю.

5.1 ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

В некоторой пространственной области гравитационное взаимодействие между телами осуществляется через гравитационное поле. В свободном состоянии гравитационное поле не обнаружено. Однако в настоящее время в соответствии с общей концепцией взаимодействий нет сомнений в реальности гравитационного поля.

На микроуровне рассмотрения гравитационное взаимодействие осуществляется посредством обмена тел виртуальными частицами, названными гравитонами.

Для гравитационной силы взаимодействия двух материальных точек

И. Ньютон в 1667 г. предложил важнейшую формулу: $\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_e$, где

G – коэффициент (постоянная всемирного тяготения); m_1, m_2 – массы взаимодействующих материальных точек; r – расстояние между материальными точками; \vec{r}_e – единичный вектор для r . Этот закон назвали *законом всемирного тяготения*.

В законе всемирного тяготения введена гравитационная масса (гравитационный заряд) – величина, в принципе не связанная с инертной массой. Различают две функции гравитационной массы, указывающие на ее связь с полем: активную – возбуждать поле, и пассивную – испытывать действие поля.

Можно говорить об инертной и гравитационной массе тела. Долгое время единственным классическим экспериментом, с высокой точностью устанавливающим равенство инертной и гравитационной массы, были опыты Этвеша, в которых измерялись ускорения тел различной внутренней структуры в поле тяжести Земли. Равенство было проверено с точностью до 10^{-8} . В 1961–1963 гг. эксперимент повторен Р. Х. Дике для поля

тяготения Солнца с точностью до 10^{-11} . В. Б. Брагинский и В. И. Панов в 1971 г. довели точность аналогичных опытов до 10^{-12} .

Основной способ измерения массы взвешиванием возможен благодаря равенству гравитационной и инертной массы. В процессе взвешивания на тела действуют, кроме гравитационных сил, упругие силы, по природе электромагнитные, что и дает возможность сравнивать массы.

Гравитационные силы действуют между элементарными частицами. Поскольку макроскопическое тело состоит из множества элементарных частиц, то передаваемый ему в результате гравитационного взаимодействия импульс распределяется между этими частицами, т. е. они участвуют в гравитационном взаимодействии.

Опыты по исследованию взаимодействия конкретных видов частиц проводились и представляют большой интерес. Измерялось гравитационное ускорение свободных нейтронов в поле тяжести Земли. С погрешностью до 1% получено обычное ускорение свободного падения. Для электронов измеренное значение ускорения свободного падения оказалось тем же. Нормальное ускорение свободного падения для фотонов в поле силы тяжести Земли установлено в опытах Р. Паунда и Г. Ребки с погрешностью не более 0,1%.

Таким образом, имеются надежные экспериментальные доказательства равенства гравитационной и инертной масс для заряженных и нейтральных элементарных частиц. Из неизменности отношения инертной и гравитационной масс тела следует одинаковость аналогичного отношения для всех без исключения элементарных частиц, входящих в состав тела в реальных или виртуальных состояниях, т. е. универсальность гравитационного взаимодействия.

Закон всемирного тяготения может быть записан в виде:

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r},$$
 где $\frac{\vec{r}}{r}$ – единичный вектор, направленный от тела m_1 к телу m_2 , к которому приложена сила $\vec{F}_{2,1}$. Отсюда в этой формуле знак « \rightarrow ». Коэффициент пропорциональности $G = 6.670 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ называется гравитационной постоянной (постоянной всемирного тяготения).

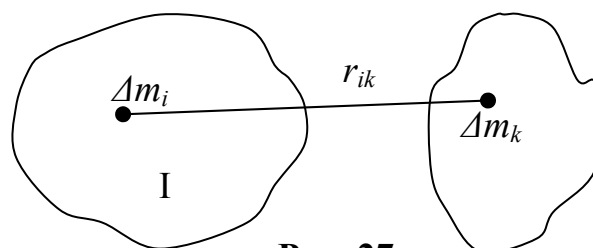


Рис. 27

Если взаимодействующие тела нельзя рассматривать как материальные точки, то для расчета силы притяжения между ними необходимо эти тела мысленно разбить на бесконечно большое количество бесконечно малых объектов массой Δm , каждый из которых можно принять за материальную точку (рис. 27).

В этом случае для силы притяжения между точечными массами Δm_i и Δm_k по закону всемирного тяготения можно записать: $\Delta F_{i,k} = G \frac{\Delta m_i \cdot \Delta m_k}{r_{i,k}^2}$

Для расчета результирующей силы притяжения между такими телами, необходимо найти векторную сумму сил $\Delta \vec{F}_{i,k}$: $\vec{F} = \sum_i \sum_k \Delta \vec{F}_{i,k}$ для тел правильной формы (цилиндр, сфера, шар) суммирование сводится к интегрированию.

Например, если тела имеют сферическую форму, то формула для силы тяготения между ними будет такая же, как и для материальных точек. При этом за расстояние между телами принимается расстояние между центрами масс шаров.

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек массой m_1 и m_2 определяется по формуле $W_p = -G \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$, где r – расстояние между материальными точками.

Современная теория гравитации – общая теория относительности (ОТО) – предусматривает гравитационное излучение, уносящее энергию и импульс, но это излучение слабое. Так, расчеты показывают, что в случае движения Юпитера мощность излучения составляет всего 450 Вт, а соответствующий ему импульс оказывается ничтожно малым по сравнению с передаваемым при взаимодействии тел.


Что касается непосредственного гравитационного взаимодействия между отдельными элементарными частицами, то каких-либо достоверных экспериментальных данных о процессах, вызванных им, в настоящее время нет. Это вполне понятно, ибо вероятность таких процессов мала по сравнению с вероятностью процессов, обусловленных другими взаимодействиями.

Поскольку экспериментально гравитационное поле в свободном состоянии в виде гравитационных волн до сих пор не обнаружено, то не обнаружен и гравитон, как реально существующая частица.

К вопросу о гравитации на уровне элементарных частиц примыкает так называемый сильный принцип эквивалентности. В настоящее время выделяют *слабый* и *сильный* принципы эквивалентности. Первый утверждает одинаковость траекторий всех тел (при одинаковых начальных условиях и небольших градиентах поля) в гравитационном поле, а второй – одинаковость всех физических законов во всех точках поля. Очевидно, что

проверка равенства тяжелой и инертной масс есть проверка слабого принципа. Равенство гравитационной и инертной масс тела в любой точке пространства является подтверждением сильного принципа эквивалентности.

В целом квазистатичность гравитационного взаимодействия в макроскопических областях (макроскопические тела – Солнечная система) означает, что гравитационное поле «мгновенно» и «без потерь» передает импульс от тела к телу. Энергия поля изменяется только в части, зависящей от взаимного расположения тел. Поскольку масштабы рамками солнечной системы и изучаемые современной астрофизикой гравитационные явления не укладываются в классическую схему, а современные теории гравитации исходят из реального существования гравитационного поля, то таким же должен быть подход к гравитационным взаимодействиям и при их первоначальном изучении.

 *Вопросы для самоконтроля:*

1. Что понимают под взаимодействием?
2. Какие параметры вводятся для описания фундаментальных взаимодействий?
3. Каким законом описывается гравитационное взаимодействие двух материальных точек, как он записывается?
4. Какими особенностями обладают силы взаимного действия материальных объектов?
5. Каким образом можно применить закон всемирного тяготения для описания гравитационного взаимодействия реальных тел?
6. Как объясняют гравитационное взаимодействие современные теории?
7. По какой формуле определяется потенциальная энергия гравитационного взаимодействия материальных точек?

5.2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

Наряду с гравитационными взаимодействиями в космическом пространстве и в земных условиях проявляются электромагнитные взаимодействия:

1. Взаимодействие неподвижных точечных зарядов описывается законом Кулона $\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r}$ и $\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r}$, где \vec{F}_{12} – сила, действующая на точечный заряд q_1 со стороны точечного заряда q_2 ; \vec{r}_{12} – радиус-вектор, соединяющий точечный заряд q_2 с зарядом q_1 , $r = |\vec{r}_{12}|$; k – коэффициент

пропорциональности; \vec{F}_{21} – сила, действующая на заряд q_2 со стороны заряда q_1 , $\vec{r}_{21} = -\vec{r}_{12}$; $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$.

2. Взаимодействие движущихся заряженных частиц. В частности, если два одноименных заряда q_1 и q_2 движутся в вакууме с одинаковыми скоростями $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 = \vec{v}$, малыми по сравнению со скоростью света c в вакууме ($v \ll c$) и направленными перпендикулярно к соединяющей заряды прямой, то силы их магнитного взаимодействия являются силами притяжения и численно равны $F_M = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot v^2$. Сила кулоновского отталкивания тех же зарядов $F_э = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$. Так как $\epsilon_0 \cdot \mu_0 = \frac{1}{c^2}$, то отношение этих сил равно $\frac{F_M}{F_э} = \frac{v^2}{c^2}$, т.е. $F_э \gg F_M$. Однако, если заряды движутся в проводнике, который в целом электрически нейтрален, электрические силы оказываются скомпенсированными, так что остается только магнитное взаимодействие. Этим объясняется магнитное взаимодействие проводников с током. Хотя сила магнитного взаимодействия каждой пары электронов в двух параллельных проводниках с токами мала, число этих пар столь велико, что результирующая сила магнитного взаимодействия проводников стоком оказывается заметной величиной.

Экспериментально было установлено, что сила взаимодействия, приходящаяся на единицу длины каждого из параллельных проводников, пропорциональна величинам токов в них I_1 и I_2 и обратно пропорциональна расстоянию r между ними: $\frac{dF}{dl} = k \frac{2I_1 I_2}{r}$, где k – коэффициент пропорциональности, dl – элемент длины проводника с током. В СИ $k = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi}$, где μ – относительная магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная. $\mu_0 \cdot \mu = \mu_a$ – абсолютная магнитная проницаемость среды. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2} \left(\frac{Гн}{м} \right)$.

Переносчиком электромагнитного взаимодействия является электромагнитное поле, частным проявлением которого являются электростатическое, стационарное электрическое, вихревое электрическое, стационарное магнитное и вихревое магнитное поля.

На движущуюся электрически заряженную частицу электромагнитное поле действует с силой, определяемой по формуле $\vec{F} = q(\vec{E} + [\vec{v} \cdot \vec{B}])$.

При контактах макроскопических тел заряды одного тела оказываются вблизи от зарядов другого, что вызывает появление электромагнитных сил, известных как силы упругости, силы трения, сопротивления среды. Макроскопические свойства (механические, тепловые и оптические) и характеристики тел также связаны с электромагнитными взаимодействиями, но уже на атомно-молекулярном уровне.

В микромире, в области от 10^{-8} до 10^{-15} м, решающую роль, играют электромагнитные взаимодействия, так как гравитационные оказываются по сравнению с ними исчезающе малыми (нейтрализация зарядов здесь не имеет места). Особенно важно, что электромагнитные взаимодействия приводят к связанным состояниям элементарных частиц и их систем. Именно они объединяют ядра и электроны в атомы, молекулы, кристаллы. Вместе с тем они же ионизируют атомы, приводят к распаду ядер и т. п. Процессы перестройки в системах заряженных частиц, вызванные электромагнитными взаимодействиями, ведут к поглощению и излучению квантов электромагнитного поля. Круг явлений, вызываемых электромагнитными взаимодействиями в указанном диапазоне, чрезвычайно широк – в конечном счете все химические реакции и биологические процессы обусловлены ими.

Электромагнитные взаимодействия характерны и для следующей пространственной области, т. е. меньшей 10^{-15} м, однако здесь они могут подавляться более интенсивными сильными взаимодействиями (для адронов).

Переносчик электромагнитного взаимодействия есть квант электромагнитного поля – γ -квант.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какое взаимодействие описывается законом Кулона?
2. По какой формуле определяется сила электромагнитного взаимодействия между движущимися заряженными частицами?
3. По какой формуле определяется сила электромагнитного взаимодействия между двумя параллельными проводниками с электрическим током?
4. Какие силы в механике являются силами электромагнитной природы?
5. Какие частицы являются переносчиком электромагнитного взаимодействия?
6. Чем отличаются электрическое и гравитационное взаимодействия частиц?
7. По какой формуле определяется потенциальная энергия электромагнитного взаимодействия неподвижных заряженных частиц?

5.3 СИЛЬНОЕ И СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В пространственной области, с размером меньше 10^{-13} – 10^{-15} м, решающую роль играют сильные взаимодействия и проявляются слабые. Важнейшее проявление сильных взаимодействий – образование связанных систем из протонов и нейтронов, т. е. образование ядер из нуклонов. Благодаря малым размерам ядер, основную роль в них играют именно сильные взаимодействия, поэтому свойства и характеристики ядер должны вытекать из свойств сильных взаимодействий. И, наоборот, о сильном взаимодействии можно судить по свойствам ядер.

Если для электромагнитных взаимодействий в квантовой механике постоянно пользуются принципом соответствия и переходят от макроскопического классического выражения к квантово-механическому выражению, то для сильных взаимодействий так поступить не удастся. Таким образом, даже простейшую систему протон – нейтрон можно изучить лишь путем эмпирического подбора математических выражений для взаимодействия. На этом пути выяснены многие важные особенности сильных взаимодействий: короткодействие, зависимость от спинов, нецентральный характер, зарядовая независимость (не зависят от электрического заряда), притяжение при $r > 10^{-15}$ м и отталкивание на меньших расстояниях, насыщение, возможная зависимость от скоростей. Следует, однако, заметить, что эти выводы не универсальны для всего пространственного диапазона проявления сильных взаимодействий, так как они получены в частном случае сравнительно больших расстояний и соответственно малых энергий частиц. Явления, развивающиеся при меньших расстояниях и больших энергиях, в рамки теории не укладываются.

Исходя из общей схемы взаимодействий на уровне элементарных частиц носителем сильного взаимодействия является соответствующий квант поля. Виртуальные частицы, осуществляющие взаимодействие на расстоянии не более 10^{-13} см, должны обладать массой $200m_e$ (m_e – масса электрона). Кроме того, для протонов и нейтронов с учетом зарядовой независимости взаимодействий следует ожидать наличия как заряженных, так и нейтральных квантов поля. Наконец, чтобы спин нуклонов при обмене квантами оставался полуцелым, последние должны иметь целый (или нулевой) спин. Частицы, обладающие всеми нужными качествами, действительно найдены в свободном состоянии, это пи-мезоны (π^+ , π^0 , π^-), или пионы (масса пиона около $270 m_e$).

При обмене заряженным пионом протон и нейтрон «обмениваются» состояниями, обмен же нейтральными пионами соответствует взаимодействиям протон-протон, нейтрон-нейтрон без изменения заряда.

Приведенная качественная схема сильного взаимодействия между нуклонами с помощью виртуальных пионов в настоящее время общепринята. Очевидно, что обмен виртуальным пионом может вызвать как связанные состояния, так и рассеяние нуклонов на нуклонах. Вместе с тем в процессах взаимодействия нуклонов виртуальные пионы могут превращаться в реальные и наоборот, т. е. при столкновении нуклонов с достаточной энергией должны рождаться пионы; при определенных условиях они должны испускаться и поглощаться ядрами. Аналогично рождению пары электрон-позитрон, нейтральный пион (при соблюдении законов сохранения) может дать пару протон-антипротон: $\pi^0 \rightarrow p + \bar{p}$.

Что касается самого процесса испускания и поглощения виртуальных квантов, то он по своей природе является вероятностным, т. е. каждый отдельный акт случаен, и можно говорить только об определенной вероятности его наступления за то или иное время. Закономерность в целом носит статистический характер и приводит к динамическим законам для больших совокупностей элементарных частиц и больших промежутков времени.


Слабые взаимодействия по сравнению с сильными и электромагнитными обладают некоторыми новыми принципиально важными особенностями. Поскольку пространственная область их проявления перекрывается с областью сильных и электромагнитных, причем они примерно на 20 порядков уступают сильным, во многих случаях решающую роль в явлениях играют не они. Однако существуют процессы, обусловленные именно слабыми взаимодействиями. Характерны в этом отношении распады элементарных частиц, запрещенные для сильных взаимодействий законом сохранения странности. Большая часть нестабильных частиц распадается в течение времени, характерного для слабого взаимодействия.

Слабым взаимодействием вызван β -распад нуклонов в ядрах вещества (а вместе с тем и β -активность ядер): $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$; $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$. Но слабые взаимодействия приводят не только к распадам: существуют слабые процессы образования частиц. Однако обнаружение таких частиц в реакциях с очень малым сечением представляет сложнейшую научно-техническую задачу. Все же в 1956 г. была зарегистрирована реакция, обратная распаду нейтрона: $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$.

Зарегистрированы к настоящему времени и некоторые другие реакции образования частиц при слабом взаимодействии. Существует элементарная частица, природу которой следует связывать только со слабыми взаимодействиями: это нейтрино, возникающее и участвующее только в них.

Очень трудно установить, имеют ли место слабые взаимодействия наряду с сильными, т. е. универсальны ли они для адронов. В настоящее время есть основания считать, что это так. Группа советских ученых в 1964–1970 гг. провела исследования, подтвердившие наличие слабых взаимодействий между протонами и нейтронами. Слабые взаимодействия идут с нарушением пространственной четности, что, с одной стороны, отличает их от сильных и электромагнитных, а с другой – затрагивает сами основания физической теории, ибо сохранение четности непосредственно связано со свойствами пространства.

Поскольку сильные и слабые взаимодействия не проявляются на макроскопическом уровне, то не существует и соответствующих макроскопических полей с их силовым описанием. Когда говорят о полях сильных и слабых взаимодействий, имеют в виду квантовое описание: поля представляют собой совокупности квантов.

 *Вопросы для самоконтроля:*

1. Каков радиус действия сильного взаимодействия?
2. Каков радиус действия слабого взаимодействия?
3. В чем схожесть сильного и электрического взаимодействия частиц?
4. В чем схожесть сильного и гравитационного взаимодействия частиц?
5. Каков механизм сильного взаимодействия частиц?
6. Каков механизм слабого взаимодействия частиц??

5.4 ОПИСАНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

На первой ступени обучения физике рассматриваются гравитационное и электромагнитное взаимодействия.

Особенности гравитационного и электромагнитного взаимодействий изучаются учащимися в рамках нескольких тем: механическое движение и взаимодействие тел, электрические явления и электромагнитные явления.

На второй ступени обучения физике виды взаимодействия материи изучаются более полно. Представим описание фундаментальных взаимодействий в курсе физики средней школы в виде таблицы 12:

Таблица 12

<i>Фундаментальное взаимодействие</i>	<i>Проявление взаимодействия</i>	<i>Физическая величина, закономерность</i>	<i>Класс</i>
	Особенности взаимодействия	Три закон Ньютона	9

Фундаментальное взаимодействие	Проявление взаимодействия	Физическая величина, закономерность	Класс
Гравитационное	Всемирное тяготение	Закон всемирного тяготения	9
	Притяжение тел землей	Сила тяжести (F_m)	7,9
Электромагнитное	Взаимодействие между частицами вещества	Сила трения ($F_{тр}$), закон Кулона-Амонтона Сила упругости (F_y), закон Гука	7,9 7,9
	Взаимодействие неподвижных заряженных частиц	Закон Кулона	8 10
	Действие магнитного поля на проводник с током	Сила Ампера (F_A)	8 10
	Взаимодействие проводников с током	Закон Ампера	8 10
Сильное, слабое	Взаимодействие нуклонов в ядре атома, взаимопревращение частиц		11

В целом содержание обучения по изучению основных взаимодействий на первой и второй ступенях обучения отобрано с учетом основных дидактических принципов и идей. Однако имеет смысл расширить его описанием сильного и слабого взаимодействий. Требуется также усиление методологического аспекта содержания обучения физике и более полное раскрытие содержания структурных элементов физических знаний.



Вопросы для самоконтроля:

1. Какие виды взаимодействия материи изучаются в 7-м классе?
2. Какие виды взаимодействия материи изучаются в 8-м классе?
3. Какие виды взаимодействия материи изучаются в 9-м классе?
4. Какие виды взаимодействия материи изучаются в 10-м классе?
5. Какие виды взаимодействия материи изучаются в 11-м классе?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авдеева, Н.И.* О школьном физическом образовании / Н.И. Авдеева, Т.Ю. Герасимова, В.М. Кротов // Проблемы содержания математического и физического образования в реформированной школе: Материалы республиканского семинара. 21–23 марта 1996 года. – Минск, 1996. – С.18–23.

2. *Ахундов, М.Д.* Пространство и время в физическом познании / М.Д. Ахундов. – М.: Мысль, 1982.

3. *Аскин, Я.Ф.* Проблема времени. Ее физическое истолкование / Я.Ф. Аскин. – М.: Мысль, 1986.

4. *Безрукова, В.С.* Педагогика. Проективная педагогика / В.С. Безрукова. – Екатеринбург: Деловая книга, 1996.

5. *Беспалько, В.П.* Слагаемые педагогической технологии / В.П. Беспалько. – М.: Педагогика, 1989.

6. *Запрудскі, М.І.* Думкі аб змесце сярэдняй фізічнай адукацыі / М.І. Запрудскі // Фізіка: праблемы выкладання. – 2002. – № 2. – С. 6.

7. Концепция физического образования / Гербутов В.А. и др. // Фізіка: праблемы выкладання. – 1996. – Вып. 5. – С. 4–23; 1997. – Вып. 6. – С. 4–18; Вып. 7. – С. 4–16.

8. Концепция физического образования в 12-летней школе // Физика в школе. – 2000. – № 3. – С. 20–24.

9. *Климишин, И.А.* Астрономия наших дней / И.А. Климишин. – М.: Наука, 1976.

10. *Кротов, В.М.* Теория и практика организации самостоятельной познавательной деятельности учащихся при изучении физики: монография / В.М. Кротов. – Могилев: УО «МГУ им. А.А. Кулешова», 2011. – 286 с.

11. *Кротов, В.М.* Введение в физику: пособие / В.М. Кротов. – Могилев: УО «МГУ им. А.А. Кулешова», 2012. – 345с.

12. *Ландау, Л.Д.* Теоретическая физика. Т. 3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1990.

13. *Леднев, В.С.* Содержание образования: сущность, структура, перспективы / В.С. Леднев. – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1991.

14. *Лисейчиков, О.Е.* Педагогическое проектирование содержания учебных курсов и базисного плана 12-летней школы в условиях разноуровневого обучения / О.Е. Лисейчиков. – Мн.: НИО, 2001.

15. *Луцевич, А.А.* Физика: учеб. пособие / А.А. Луцевич, С.В. Яковенко. – Минск: Выш. школа, 2000.

16. *Мостепаненко, А.М.* Пространство и время в макро-, мега- и микромире / А.М. Мостепаненко. – М.: Политиздат, 1974.

17. *Мултановский, В.В.* Физические взаимодействия и картина мира: пособие для учителей / В.В. Мултановский. – М.: Просвещение, 1977.

18. *Осипов, А.И.* Пространство и время как категории мировоззрения и регуляторы практической деятельности / А.И. Осипов. – Минск: Наука и техника, 1989.

19. *Потемкин, В.К.* Пространство в структуре мира / В.К. Потемкин, А.Л. Симанов. – Новосибирск: Наука, 1990.

20. *Рейхенбах, Г.* Философия пространства и времени / Г. Рейхенбах – М.: Наука, 1985.

21. *Тарасов, Л.В.* Современная физика в средней школе / Л.В. Тарасов. – М.: Просвещение, 1990, 288 с.

22. *Яворский Б.М.* Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М.: Наука, 1990.

23. Учебные программы для общеобразовательных учреждений с белорусским и русским языками обучения. Физика: 6–11 классы. Астрономия: 11 класс / М-во образования Респ. Беларусь. – Минск: НИО, 2009.

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОБУЧЕНИЯ	4
1.1 Уровни изучения учебного курса (предмета).....	4
1.2 Дидактические принципы отбора содержания образования	6
1.3 Основные положения структурирования содержания образования	11
1.4 Научность (степень абстракции) описания предметных знаний.....	13
1.5 Структурирование физических знаний.....	14
1.5.1 Содержание и структура физических знаний.....	14
1.5.2 Конструирование содержания обучения физике	32
2. О СОДЕРЖАНИИ ПОНЯТИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ	36
2.1 Пространство и время в макромире.....	36
2.2 Пространство и время в мегамире	40
2.3 Пространство и время в физике микромира.....	43
2.4 Пространство и время в курсе физики средней школы.....	49
3. СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ И ЕЕ СВОЙСТВА В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ	50
3.1 Вещество в макромире. Свойства вещества	50
3.2 Строение вещества. Микрочастицы и их свойства.....	53
3.3 Гравитационное поле	60
3.4 Электромагнитное поле	61
3.5 Вещество и поле	70
3.6 Отражение основных идей строения материи в курсе физики средней школы	71
4. ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ И ИХ ОПИСАНИЕ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ	75
4.1 Механическое движение и его характеристики	75
4.2 Тепловое движение и его характеристики	87
4.3 Электромагнитное движение материи	91
4.4 Взаимное превращение частиц и поля	101
4.5 Описание видов движения материи в курсе физики средней школы.....	103

5. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИХ ОПИСАНИЕ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ	105
5.1 Гравитационное взаимодействие и его особенности.....	108
5.2 Электромагнитное взаимодействие и его особенности.....	111
5.3 Сильное и слабое взаимодействия.....	114
5.4 Описание фундаментальных взаимодействий в курсе физики средней школы.....	116
ЛИТЕРАТУРА	118

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулецова