

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Е. Б. ШЕРШНЕВ, А. Н. КУПО, С. А. ЛУКАШЕВИЧ

ОБЩАЯ ФИЗИКА
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ,
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА,
ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Практическое пособие

для нефизических специальностей
и специальности 6-05-0612-03 «Системы управления информацией»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2024

УДК 53(076)
ББК 22.31я73
Ш507

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук В. Е. Гайшун,
кандидат технических наук В. А. Банный

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Шершневу, Е. Б.

Ш507 Общая физика. Физические основы механики,
молекулярная физика и термодинамика, электростатика :
практическое пособие / Е. Б. Шершневу, А. Н. Купо, С. А. Лукашевич ;
Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины,
2024. – 39 с.
ISBN 978-985-577-973-6

Целью практического пособия является оказание помощи студентам заочной формы обучения при подготовке к экзамену по физике. В практическом пособии рассмотрены разделы курса общей физики: «Физические основы механики», «Молекулярная физика и термодинамика», «Электростатика», изложено их краткое содержание, даны методические указания по изучению основных законов физики.

Адресовано студентам нефизических специальностей и специальности 6-05-0612-03 «Системы управления информацией».

**УДК 53(076)
ББК 22.31я73**

ISBN 978-985-577-973-6

© Шершневу Е. Б., Купо А. Н.,
Лукашевич С. А., 2024

© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Физические основы механики.....	5
1.1. Основные методы изучения физики и задачи механики.....	5
1.2. Кинематика поступательного и вращательного движения.....	6
1.3. Основы динамики поступательного движения.....	9
1.4. Динамика вращательного движения абсолютно твердого тела.....	12
1.5. Кинематика гармонического колебательного движения.....	15
1.6. Динамика гармонического колебательного движения.....	18
1.7. Механические волны.....	22
2. Молекулярная физика и термодинамика.....	25
2.1. Кинетическая теория газов.....	25
2.2. Распределение молекул по скоростям.....	27
2.3. Физические основы термодинамики.....	29
2.4. Второе начало термодинамики.....	31
3. Электростатика.....	34
3.1. Электрическое поле неподвижных зарядов.....	34
3.2. Диэлектрики и проводники в электрическом поле.....	36
Литература.....	39

ВВЕДЕНИЕ

В последние нескольких лет мы являемся свидетелями бурного развития физических наук. Трудно назвать такую область человеческого знания, которая не претерпела существенного, а иногда и коренного изменения благодаря исключительным успехам физики. Новые идеи и факты, открытые физикой, становятся неотъемлемой частью восприятия человеком окружающего мира.

Знание физики является необходимым для специалиста, работающего в любой отрасли науки и техники, желающего осмыслить основы своей области деятельности, стремящегося принять творческое участие в её развитии.

Задача курса общей физики, читаемого студентам на нефизических специальностях, заключается в том, чтобы при ограниченном количестве часов, отводимых на изучение этой дисциплины, помочь обучающимся понять основополагающие физические законы и основные теории, внедряемые в техническую сферу деятельности общества, в том числе и в область информационно-коммуникационных технологий. Поэтому материал в данном пособии систематизирован, структурирован и адаптирован для обучающихся с учётом их образовательной траектории.

В результате бурного прогресса физики, в том числе и за последние несколько десятилетий, объём образовательной информации, который, согласно стандартам и учебным программам, должен быть усвоен студентами, непрерывно возрастает. Эта тенденция приводит к необходимости разработки учебных пособий, которые содержат дополнительный обобщающий теоретический материал, сочетающий в себе ключевые аспекты изучаемой дисциплины и элементы текущего и итогового контроля знаний.

Данное практическое пособие содержит основные теоретические сведения по разделам «Механика», «Молекулярная физика и термодинамика» и элементы «Электростатики». Материал в пособии распределён по главам, каждая из которых содержит перечень основных вопросов, ключевые формулы и определения, методические указания для обучающихся и контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения. Представленный в таком виде материал может быть использован при закреплении знаний по указанным разделам, для подготовки к выполнению лабораторных работ, зачётам и экзаменам.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1.1. Основные методы изучения физики и задачи механики

1. Предмет физики. Физика как наука.
2. Методы физического исследования.
3. Основные этапы развития физической картины мира.
4. Связь физики с другими науками.

Методические указания

Раскрывая вопрос о предмете физики, необходимо остановиться на материальности мира. Указать на многообразие форм движения материи. Особо подчеркнуть, что предмет исследования физики составляют наиболее простые и наиболее общие формы движения материи (механические, молекулярные, электромагнитные, внутриатомные, ядерные).

Необходимо понять важное значение физики в системе естественных наук. Физика служит фундаментом для всех технических дисциплин и является одной из главных естественно-научных основ материалистического мировоззрения.

Среди методов физического исследования следует выделить наиболее общий подход к изучению объективного мира – метод диалектического материализма. Раскрыть особенности физических исследований. Ввести понятие физической модели, абстракции.

Уяснить содержание методов индукции и дедукции.

При характеристике физических законов следует обратить внимание на их объективность и относительность.

Необходимо осознать, что знание математической формулировки закона предполагает понимание смысла величин, входящих в формулу (физический смысл).

Нельзя смотреть на физику как на нагромождение формул.

Говоря о теориях в физике, необходимо подчеркнуть следующие два обстоятельства. Во-первых, физические теории никогда не бывают полными, абсолютно правильно объясняющими все явления природы. Процесс совершенствования наших представлений бесконечен. Во-вторых, следует иметь в виду, что задачей теории является не только объяснение явлений природы. Она должна указывать пути преобразования природы.

Очень важно уяснить, что развитие физики – не постепенная эволюция. Открытие новых научных фактов, не укладывающихся в рамки

старых понятий, законов, теорий, приводит к их коренной ломке. Вся история физики – это процесс становления, совершенствования и смены различных физических картин мира.

Физика тесно связана с философией. Следует заострить внимание на том, что самые крупные открытия в физике всегда были ареной острой борьбы между материализмом и идеализмом. Особенно эта борьба ожесточилась в начале нашего века в связи с потоком новых открытий в физике.

Изучение физических открытий, их философское обобщение играют важную роль в формировании научного мировоззрения.

Однако философские и исторические вопросы должны излагаться не концентрированно, во введении, а по всему курсу в прямой логической связи с текущим материалом.

Обязательно показать связь физики с математикой. Раскрыть вопрос о том, что использование математического аппарата, математических методов дает исследователю наиболее адекватный язык для формулировки основных физических законов, способ мышления: создание новых физических теорий; точное предсказание новых явлений: использование современных вычислительных машин.

Разбирая вопрос о связи физики с техникой, обратить внимание на то, что наука развивается не случайно, а под влиянием социально-экономических факторов, так, например, открытие электромагнитной индукции было связано с возникновением необходимости найти новый источник электрической энергии взамен малопригодных гальванических элементов.

Физические методы исследования применяются в самых различных областях техники, а также для установления оптимальных параметров технологических процессов, при разработке новой технологии и создании новых материалов.

В свою очередь техника оказывала и оказывает стимулирующее влияние на развитие физики.

Необходимо привести примеры использования новейших открытий (сверхчистые материалы, лазерная техника, вычислительная техника и т. п.) и тот экономический эффект, который они дают производству.

1.2. Кинематика поступательного и вращательного движения

1. Понятие пространства и времени, материальной точки, системы отсчета. Вектор элементарного перемещения. Путь, траектория.

2. Скорость средняя, мгновенная. Вектор линейной скорости. Ускорение, тангенциальная и нормальная составляющие ускорения.

3. Понятие абсолютно твердого тела. Вектор углового перемещения. Угловая скорость. Связь между линейной скоростью и угловой.

4. Угловое ускорение. Связь между линейным ускорением и угловым.

Методические указания

Кинематикой называется раздел механики, изучающий перемещение тел без учета взаимодействия между ними. Кинематика ограничивается разработкой способов описания движения тел, отказываясь от выяснения причин, которые изменяют состояние движения.

Надо усвоить основные кинематические понятия: материальная точка, система отсчета, траектория, вектор перемещения, скорость, ускорение.

В вопросах, охватывающих кинематику вращательного движения, очень важно понять различие линейных и угловых характеристик движения и их взаимную связь.

Необходимо более подробно остановиться на определении мгновенной скорости, используя тот математический аппарат, который студентам знаком из математического анализа.

Рассмотреть случай криволинейного движения. Уяснить, что криволинейное движение всегда происходит с ускорением. Вывести формулы тангенциального, нормального и полного ускорений.

Показать, что полное ускорение состоит из двух составляющих: ускорения тангенциального и нормального. Причем нормальная компонента ускорения не изменяет абсолютного значения скорости, а изменяет лишь ее направление. Изменение абсолютного значения скорости обусловлено только тангенциальной составляющей ускорения.

Следует отчетливо представить себе, как направлены векторы линейной скорости, тангенциального и нормального ускорения, углового перемещения, угловой скорости, углового ускорения.

Именно в разделе «Кинематика» необходимо вспомнить математический аппарат сложения и вычитания векторов.

Наравне с правилом «буравчика», обязательно использовать векторное произведение векторов, его геометрическое толкование. Обратить внимание на то, что изменение порядка сомножителей в векторном произведении вызывает изменение направления результирующего вектора на противоположное.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Зависит ли вид траектории движущейся точки от системы отсчета, в которой рассматривается движение этой точки?
2. Как направлены вектора средней и мгновенной скоростей?
3. Доказать, что при движении по окружности нормальное ускорение направлено к центру окружности.
4. Пусть при движении точки по кривой абсолютная величина скорости постоянна. Следует ли отсюда, что ускорение точки равно нулю?
5. Найти модуль и проекцию ускорения на траекторию в случае прямолинейного движения по закону:

$$S = S_0 + bt + \frac{1}{2}at^2.$$

6. Построить траекторию точки, если ее координаты следующим образом зависят от времени:
 - а) $x = 5t$; $y = 2t + 3$;
 - б) $x = 2\sin 3t$; $y = 2\cos 3t$.
7. Первую половину времени тело движется со скоростью $v_1 = 20$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к заданному направлению, а вторую половину времени – под углом $\alpha = 120^\circ$ к тому же направлению со скоростью $v_2 = 40$ м/с. найти среднюю скорость движения.
8. Радиус-вектор точки зависит от времени по закону

$$\vec{r} = \vec{a}t + \frac{bt^2}{2},$$

где \vec{a} и \vec{b} – постоянные векторы.

Найти скорость \vec{v} и ускорение \vec{w} точки.

9. Как направлен вектор углового перемещения $d\vec{\varphi}$?
10. Что называется угловой скоростью? Как направлен вектор угловой скорости?
11. Как связаны векторы линейной и угловой скоростей?
12. Что называют угловым ускорением? Как направлен вектор углового ускорения?

1.3. Основы динамики поступательного движения

1. Основные свойства и понятия динамики: инерция, масса, импульс, сила, импульс силы.
2. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета.
3. Механический принцип относительности Галилея. Теорема сложения скоростей.
4. Второй и третий законы Ньютона.
5. Закон сохранения импульса.
6. Механическая работа. Энергия. Кинетическая и потенциальная энергия.
7. Закон сохранения механической энергии.

Методические указания

Основной задачей динамики является изучение движений тел в той или иной системе отсчета и причин, определяющих характер этих движений. Необходимо прежде всего выяснить физический смысл основных положений классической ньютоновской механики. Показать, что предметом ее изучения является движение макроскопических материальных тел, совершаемое со скоростями малыми по сравнению со скоростями света ($v \ll c$).

Необходимо дать четкое определение основных величин динамики и толкование их физического смысла: массы, импульса, силы, импульса силы.

Не следует думать, что содержание массы исчерпывается одними только динамическими проявлениями. В ряде физических явлений масса служит мерой иных свойств материальных объектов, так в законе тяготения масса характеризует гравитационные свойства взаимодействующих тел, в законе взаимосвязи массы и энергии ($E = mc^2$, теория относительности) масса является мерой полной энергии тела и т. п. Словом, масса – сложное и многогранное понятие, по-разному проявляющее себя в различных физических явлениях. Кроме того, утверждение о независимости массы от скорости также составляет одно из основных положений классической механики Ньютона (при $v \ll c$).

Определяя силу, необходимо указывать тело, со стороны которого и на которое сила действует, важно показать, что взаимодействие тел может проявляться не только в сообщении ускорений, но и в изменении формы или объема тела. Сила в общем случае является функцией координат, скорости и времени.

В основе классической механики лежат три закона Ньютона. Сформулировав первый закон Ньютона, следует остановиться на вопросах, связанных с инерциальными системами отсчета. Утверждение, что инерциальные системы отсчета существуют, составляет содержание первого закона классической механики – закона инерции Галилея-Ньютона. Здесь важно уяснить, что равномерное прямолинейное движение является естественным состоянием тел, т. е. материя не нуждается в привнесении движения извне. Внешнее воздействие лишь изменяет движение.

Инертность тел выражает неуничтожимость движения.

Из преобразований Галилея следует, что перемещения (координаты точки) и скорости тел относительны, т. е. зависят от выбора системы отсчета. Тогда как ускорение точки одно и то же во всех инерциальных системах отсчета. Во всех инерциальных системах отсчета свойства пространства и времени одинаковы, одинаковы также и все законы механики.

Рассматривая принцип относительности Галилея, следует указать, что он является выражением равноправности всех инерциальных систем отсчета.

Преобразование координат Галилея и классическая теорема сложения скоростей справедливы для $v \ll c$.

Второй закон Ньютона следует сформулировать в общем виде как закон изменения импульса:

$$\vec{F}dt = d(m\vec{v}).$$

Необходимо указать на то, что второй закон Ньютона отражает причинно-следственную связь явлений в механике: взаимодействие тел является причиной, вызывающей изменение скорости.

Рассматривая третий закон Ньютона, следует уяснить, что всякое действие тел друг на друга носит характер взаимодействия. Силы, действующие на тела, направлены вдоль одной прямой, но в противоположные стороны, поэтому нельзя говорить о равнодействующей этих сил, так как они приложены к различным телам.

Закон сохранения импульса можно вывести из законов Ньютона, важно подчеркнуть, что этот закон справедлив только для замкнутой системы. При составлении уравнений на основании закона сохранения импульса следует обратить внимание на то, что скорости всех рассматриваемых тел должны обязательно отсчитываться относительно одной и той же системы отсчета, а также на векторный характер закона.

Необходимо усвоить понятие механической работы и метода ее вычисления в случае постоянной и переменной силы. Записать работу как скалярное произведение вектора силы на вектор перемещения тела.

Опыт показывает, что превращения одних форм движения в другие происходит в строго определенных соотношениях. Физическая величина, являющаяся мерой различных форм движения и взаимодействия материальных объектов, называется *энергией*, каждую форму движения характеризует соответствующий ей вид энергии: механическая, тепловая, электромагнитная и т. д. Следует обратить внимание на соотношение работы и энергии. Отметить, что работа – это процесс изменения энергии тела под действием силы.

Важно понять, что энергия является функцией состояния тела. Показать, что механическая энергия зависит от двух векторных параметров: параметра \vec{r} , определяющего положение тела относительно другого тела, с которым оно взаимодействует, и параметра \vec{v} , определяющего меру движения тела в пространстве:

$$E = E(\vec{r}, \vec{v}).$$

Соответственно этому можно разбить механическую энергию на два вида: потенциальную и кинетическую. Вывести формулы кинетической энергии, используя второй закон Ньютона и формулу потенциальной энергии упруго-деформированного тела.

Вывести понятие консервативных сил и потенциального поля. Сформулировать закон сохранения и превращения механической энергии. Показать, что полная механическая энергия в замкнутой и консервативной системе не изменяется в процессе ее движения.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Может ли импульс тела служить характеристикой вращательного движения?
2. Как могут двигаться друг относительно друга инерциальные системы отсчета? Напишите преобразования Галилея.
3. Является ли помещение лаборатории, неподвижное относительно земной поверхности, достаточно хорошей инерциальной системой отсчета? Если нет, то почему?
4. Сформулируйте законы динамики Ньютона.
5. Как определяются понятия энергии и работы в механике?
6. С помощью графической интерпретации вычислить потенциальную энергию упруго-деформированного тела.

7. Напишите закон сохранения механической энергии для груза, подвешенного вертикально на пружине с жесткостью K .

8. Почему пуля, вылетевшая из ружья, не разбивает оконное стекло на осколки, а образует в нем круглое отверстие?

9. Тело массы m движется вниз по наклонной плоскости. Определить ускорение, с которым движется тело, и реакцию опоры, если угол между наклонной плоскостью и горизонтом α , а коэффициент трения между поверхностью тела и наклонной плоскостью – μ .

10. Взрыв разделяет камень на три части. Два куска летят под прямым углом друг к другу: кусок в 1 кг летит со скоростью 12 м/с, а кусок в 2 кг – со скоростью 8 м/с. Третий кусок отлетает со скоростью 40 м/с.

Начертить диаграмму импульсов, показывающую направление, в котором летит третий кусок.

Какова масса третьего куска?

11. Камень массой 100 г, соскользнув с наклонной плоскости высотой 3 м, приобрел в конце ее скорость 6 м/с. Найти работу силы трения.

Указание. Использовать закон изменения механической энергии

$$\Delta E_{\text{к}} + \Delta E_{\text{п}} = A_{\text{тр}},$$

где $\Delta E_{\text{к}}$ – изменение кинетической энергии;

$\Delta E_{\text{п}}$ – изменение потенциальной энергии;

$A_{\text{тр}}$ – работа сил трения.

1.4. Динамика вращательного движения абсолютно твердого тела

1. Абсолютно твердое тело. Центр инерции.
2. Основной закон динамики вращательного движения.
3. Момент инерции. Теорема Штейнера.
4. Момент силы. Работа моментов сил. Кинетическая энергия вращающегося тела.
5. Момент импульса, закон сохранения момента импульса.

Методические указания

Вопросы динамики вращательного движения тела являются сравнительно трудными для студентов, так как в средней школе динамика вращательного движения твердого тела не изучается.

Следует уяснить особенности вращательного движения твердого тела. Дать определение центра инерции. Показать, что линейная скорость не является характеристикой вращательного движения всего тела, такой характеристикой является угловая скорость.

При изложении вопросов динамики вращательного движения следует пользоваться аналогиями с поступательным движением, так, например, основной закон динамики вращательного движения следует изложить исходя из закона поступательного движения, представив тело в виде системы материальных точек.

Необходимо уделить основное внимание анализу физического содержания этого закона и величин, связь между которыми он выражает (момент инерции, момент силы, момент импульса).

Показать, что роль массы во вращательном движении играет момент инерции тела. Это скалярная физическая величина, зависящая не только от массы тела, но и от характера распределения ее по отношению к оси вращения.

Понятие момента силы – одно из основных понятий механики. Обязательно нужно показать недостаточность понятия силы для описания вращательного движения. Следует различать момент силы относительно точки и момент силы относительно оси.

Момент силы относительно точки – вектор. Он определяется как векторное произведение векторов (силы \vec{F} и радиуса – вектора \vec{r}):

$$\vec{M} = [\vec{F} \cdot \vec{r}].$$

Момент силы относительно оси – скалярная величина. Он равен проекции на ось вектора момента силы относительно любого центра, взятого на этой оси.

Моменты сил относительно точки складываются как векторы, моменты сил относительно оси – как скалярные величины – алгебраически.

В курсе общей физики рассматриваются преимущественно моменты сил относительно оси.

Аналогично моменту сил определяется момент импульса материальной точки. Обязательно раскрыть векторный характер момента импульса.

Изменение момента импульса со временем относительно точки O определяется по формуле

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M},$$

а относительно оси (например, OZ) по формуле

$$\frac{dL_z}{dt} = M_z.$$

Следует указать, что производная по времени от момента импульса равна моменту силы. Тогда основное уравнение динамики вращательного движения можно записать в виде

$$\frac{d}{dt}(J_z \omega) = M_z \text{ или } \beta = \frac{M_z}{J_z},$$

где J_z – момент инерции тела относительно оси OZ ;
 ω – угловая скорость;
 β – угловое ускорение.

Закон сохранения момента импульса следует рассмотреть как частный случай второго закона динамики вращательного движения (момент внешних сил равен нулю). Привести примеры, когда вектор момента импульса сохраняется по величине и направлению. Это значит, что направление оси вращения не изменяется. Все гироскопы действуют на основе закона сохранения импульса.

Закончить изложение материала следует составлением таблицы сопоставления величин и законов поступательного и вращательного движений.

Демонстрации

1. Движение тел по наклонной плоскости: цилиндр сплошной и полый равной массы и радиуса.
2. Закон сохранения момента импульса продемонстрировать на скамье Жуковского.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Что такое момент инерции и какой физический смысл он имеет?
2. С наклонной плоскости скатываются два цилиндра – сплошной деревянный и полый металлический – одинаковых размеров и одинаковой массы. Который из них скатится быстрее и почему?

3. Что такое момент силы? Что такое момент импульса?
4. Как демонстрируется закон сохранения импульса на скамье Жуковского?
5. Выведите второй закон Ньютона для вращательного движения.
6. На полый тонкостенный цилиндр намотана нить, свободный конец которой прикреплен к потолку. Цилиндр разматывается под действием собственного веса, найти ускорение цилиндра и силу натяжения нити, если массой и толщиной нити можно пренебречь.
7. На скамье Жуковского стоит человек и держит в руке велосипедное колесо, вращающееся вокруг своей оси с угловой скоростью $\omega_0 = 15 \text{ с}^{-1}$. Ось колеса расположена вертикально и совпадает с осью скамьи Жуковского. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться скамья, если повернуть колесо вокруг горизонтальной оси на 180° ? Момент инерции человека и скамьи $J = 3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Момент инерции колеса относительно своей оси $J_a = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

1.5. Кинематика гармонического колебательного движения

1. Общий признак колебательного движения.
2. Гармонические колебания. Способы изображений (аналитический, геометрический, графический).
3. Кинематическое уравнение гармонического колебания, характеристики гармонического колебания: амплитуда, период, частота, фаза, смещение, скорость, ускорение.
4. Сложение гармонических колебаний:
 - а) одинаково направленных с $T_1 = T_2$ и $T_1 \neq T_2$ (биения);
 - б) взаимно-перпендикулярных с $T_x = T_y$ Фигуры Лиссажу.

Методические указания

Колебательные и волновые процессы весьма часто встречаются в окружающей нас природе и технике. Значительная часть механических движений, движение периодически работающих машин, почти все акустические явления, переменный ток, радиотехника и часть электроники, вся волновая оптика, волновые свойства частиц описываются на языке колебательных и волновых движений.

При изучении материала необходимо уяснить физическую сущность явлений и общность математических методов, применяемых для описания различных по своей природе физических процессов.

Гармоническим колебанием в физике и технике уделяется особое внимание, поскольку существует громадное число физических систем, совершающих гармоническое движение (с большой степенью точности). Кроме того, периодическое негармоническое движение можно свести к сумме гармонических движений.

Следует рассмотреть переход от равномерного движения по окружности к гармоническому колебательному по прямой. Отметить характерную черту обоих процессов – их периодичность. Четко определить основные характеристики колебательного движения: смещение, амплитуду, частоту, круговую частоту, период колебания, фазу.

Очень часто студенты путают смещение в гармоническом колебании с амплитудой.

Следует обратить внимание на то, что синусоида и косинусоида являются лишь изображением периодического во времени процесса.

Обязательно нужно отметить, что фаза – понятие физическое, а не геометрическое, так как студенты часто, анализируя колебания математического маятника, допускают ошибку, отождествляя угол отклонения нити маятника от вертикали с фазой.

Период колебаний является собственной характеристикой колеблющегося тела, тогда как амплитуда и начальная фаза зависят от внешних условий, возбудивших данные колебания.

Необходимо уяснить, что смещение, скорость и ускорение точки совершают гармонические колебания с одинаковыми круговой частотой и периодом. Амплитуды этих колебаний различны. Фазы также различны.

Нужно отчетливо представить себе возможные случаи сложения одинаково направленных и взаимно-перпендикулярных колебаний. Рассмотреть роль разности фаз складываемых колебаний во всех случаях. При сложении колебаний использовать метод векторных диаграмм. Этот метод дает наглядное толкование всех основных характеристик движения.

Необходимо пояснить, что хорошее усвоение темы: «Механические колебания» является условием успешного изучения последующих тем: «Переменный ток», «Электромагнитные колебания и волны» и др.

В процессе решения задач студенты должны научиться пользоваться соответствующими формулами, осознать те специфические отличия, которые имеет колебательное движение по сравнению с другими видами движений.

Для того, чтобы избежать формально-математического решения задач, нужно использовать чертежи, рисунки, графики, данные эксперимента.

Демонстрации

1. Сложение одинаково направленных колебаний с $T_1 = T_2$ и $T_1 \neq T_2$ (биения).
2. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний (фигуры Лиссажу).

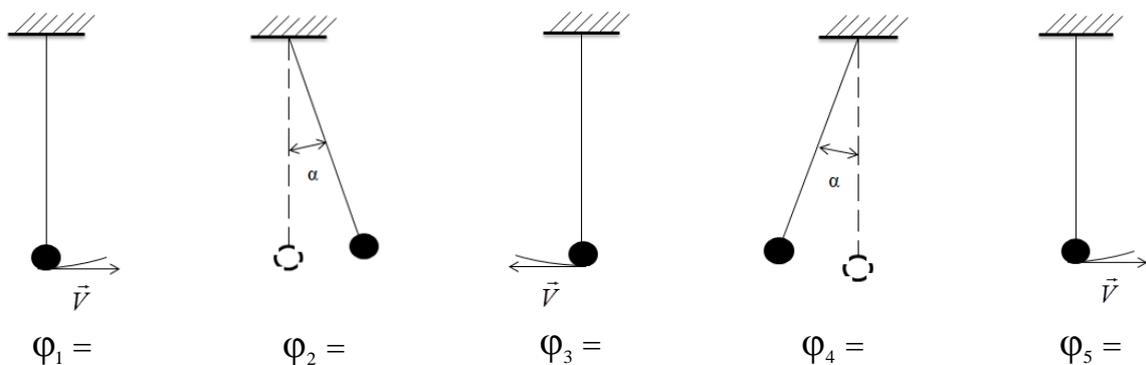
Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Дайте кинематическое определение гармонического колебательного движения.
2. Выведите формулы скорости и ускорения для гармонического колебательного движения. Чему равны амплитудные значения скорости и ускорения?
3. Что такое фаза, амплитуда, период?
4. Как по разности фаз гармонических колебаний одинаковой частоты узнать, на какую долю периода запаздывает одно колебание сравнительно с другим?
5. Написать уравнение гармонического колебания, если амплитуда его 10 см, максимальная скорость 50 см/с, начальная фаза 15° . Определить период колебания и смещение колеблющейся точки через 0,2 с от начала колебания.
6. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, заданных уравнениями:

$$\begin{aligned}x &= 2 \sin \omega t , \\y &= 4 \cos \omega t .\end{aligned}$$

Определить траекторию движения точки.

7. Укажите значения фаз, соответствующие положениям математического маятника при его колебаниях по закону $x = A \sin \omega t$.



1.6. Динамика гармонического колебательного движения

1. Динамика гармонического колебательного движения. Маятники: пружинный, математический, физический. Энергия гармонического колебания.

2. Затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания.
3. Вынужденные колебания. Механический резонанс.
4. Примеры вынужденных колебаний в механике и акустике.

Методические указания

При изучении основ динамики колебательного движения используется аппарат высшей математики.

Динамику гармонического колебания следует раскрыть на примере пружинного маятника. Необходимо записать динамическое уравнение, указав предварительно на роль упругой (или квазиупругой) силы. Показать, что величина

$$K = m\omega_0^2 = \frac{|F|}{|x|},$$

численно равна силе, создающей единичную деформацию и называется «жесткостью», так как сила в гармоническом колебании определяется свойствами самой системы, то и частота колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}},$$

также зависит только от свойств системы. Ее называют частотой свободных колебаний.

Решением уравнения

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0,$$

является уравнение вида:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где x – смещение;

A – амплитуда;

φ_0 – начальная фаза колебания.

Обязательно объяснить на примерах знак «−» в формуле

$$F = -Kx,$$

показав, что в любой момент времени смещение материальной точки и действующая на нее сила направлены навстречу друг другу.

Можно ограничиться рассмотрением математического маятника с выводом формулы периода. Физический маятник рекомендовать студентам изучить самостоятельно.

Говоря об энергии гармонически колеблющейся системы, следует показать, что полная энергия равна максимальной кинетической (в положении равновесия) или максимальной потенциальной (в крайних точках) энергии. С течением времени потенциальная энергия переходит в кинетическую и обратно.

Переходя к затухающим колебаниям от гармонических, подчеркнуть, что в этом случае рассматриваются реальные колебания, с учетом сил трения. Объяснить закон убывания амплитуды $A_t = A_0 e^{-\beta t}$. Графически показать изменение амплитуды и смещения от времени.

Можно не рассматривать деталей решения динамического уравнения затухающих колебаний, но тщательно проанализировать кинематическое уравнение, дать определение логарифмического декремента затухания и его физического смысла.

При изложении вопроса о вынужденных колебаниях обязательно показать графически процесс их возникновения. Ввести понятие времени релаксации, заострить внимание на том, что, когда затухнут собственные колебания системы, она будет вынуждена совершать колебания по закону вынуждающего воздействия. Мы рассматриваем только

те колебания, которые вызываются гармоническими воздействиями. Установившиеся вынужденные колебания происходят с частотой, равной частоте вынуждающей силы.

Следует еще раз напомнить, что хорошее усвоение раздела механических колебаний – успех в познании электрических колебаний, электромагнитных волн.

Второй закон Ньютона для вынужденных колебаний нужно записать вначале в векторной форме, а затем перейти к дифференциальному уравнению вида:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_a^2 x = F_0 \cos \omega t. \quad (1)$$

Вынужденные колебания будут протекать по закону действия вынуждающей силы, с частотой ω : $x = A \cos(\omega t - \varphi_0)$, где φ – сдвиг фаз между вынуждающей силой и вызываемыми ею колебаниями; x – смещение.

Амплитуду установившихся вынужденных колебаний можно найти с помощью векторной диаграммы. Этот путь наиболее доступный и требует меньших затрат времени при изложении.

Для этого уравнение (1) записать для амплитудных значений:

$$A\omega_a^2 + 2A\beta\omega + A\omega^2 = \frac{F_a}{m}.$$

Учитывая фазы смещения, скорости, ускорения, построить векторную диаграмму, найдя уравнение амплитуды установившихся вынужденных колебаний, следует проанализировать ее зависимость от F_0 , ω , ω_0 , β . Показать, что резонансная частота меньше частоты собственных колебаний:

$$W_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}.$$

На вынужденные колебания, на явление механического резонанса можно привести много интересных примеров.

Эти вопросы следует студентам проработать самостоятельно и обсудить на коллоквиуме.

Демонстрации

1. Резонанс маятников. Можно показать фрагмент видеофильмов: механические колебания, вынужденные колебания, резонанс.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Какие силы называются квазиупругими?
2. От чего зависит полная энергия тела, совершающего гармонические колебания?
3. Выведите формулы для периодов колебаний пружинного, физического и математического маятников.
4. Что называется приведенной длиной физического маятника?
5. Уравнение колебания материальной точки массой $m = 0,016$ кг имеет вид

$$x = 0,1 \sin\left(\frac{\pi}{8}t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ м.}$$

Найти:

- а) значение максимальной силы F_{\max} действующей на точку;
 - б) полную энергию колеблющейся точки».
6. В каком случае свободные колебания системы будут затухающими?
 7. Как изменяется во времени амплитуда затухающих колебаний?
 8. Что называется логарифмическим декрементом затухания?
 9. Являются ли затухающие колебания периодическими?
 10. Какие колебания называются вынужденными?
 11. Выведите формулы амплитуды и начальной фазы вынужденных колебаний.
 12. В чем состоит явление механического резонанса?
 13. Чему равняется сдвиг фаз между силой и скоростью в момент резонанса? Какую роль при этом играет сила?
 14. Математический маятник длиной $L = 24,7$ см совершает затухающие колебания. Логарифмический декремент затухания $\delta = 0,01$. Определить время, в течение которого энергия маятника уменьшится в 9,4 раза; время колебания маятника.

Указания:

1. Выразите отношение энергий через амплитуды колебаний.

2. Запишите отношение амплитуды и коэффициент затухания через искомое время t .

3. Используя другие данные величины, получите уравнение для определения t .

4. Практически можно считать, что колебания прекратились, если амплитуда их упала до 0,01 от начальной величины.

5. Запишите отношение амплитуд через период колебаний, логарифмический декремент затухания и искомое время τ . Решить полученное уравнение относительно τ .

15. Груз массой 0,1 кг подвешен на пружине с коэффициентом жесткости 10 н/м. На груз действует вынуждающая сила, описываемая уравнением $F = 2\cos 8t$ Н. Коэффициент затухания $\beta = 0,5 \text{ с}^{-1}$.

Определить уравнение смещения, установившихся вынужденных колебаний; время установления колебаний.

1.7. Механические волны

1. Волновой процесс. Образование продольных и поперечных волн.

2. Уравнение волны, характеристики волны: амплитуда, фаза, смещение, скорость, длина волны.

3. Фронт волны. Принцип Гюйгенса. Луч. Волновая поверхность.

4. Когерентность волн. Интерференция. Условия максимума и минимума. Стоячая волна.

5. Характеристики звука. Источники и приемники звука. Эффект Доплера. Ультразвук и инфразвук.

Методические указания

Студенты практически имеют недостаточные представления о волновом движении, так как в школьном курсе этой теме не уделяется достаточного внимания.

Нужно обязательно привести примеры на возникновение и распространение волн. Дать определение волнового движения как процесса распространения колебаний в упругих средах.

Необходимо сравнить уравнение гармонического колебания и уравнение волны, обращая внимание на то, что смещение точки среды, участвующей в волновом процессе – функция времени и координаты этой точки.

Следует уяснить, что скорость распространения волны не имеет ничего общего со скоростью перемещения вещества. Нужно четко разграничить понятие фазовой скорости волны v_ϕ от скорости гармонического колебания v . Скорость v_ϕ для данной среды – величина постоянная. Она характеризует скорость распространения какой-либо фазы волны в пространстве. Скорость же гармонического колебательного движения – величина переменная. Она изменяется по закону:

$$V = A\omega \cos(\omega t + \phi_0).$$

В формуле $\lambda = v_\phi T$ длина волны равна пути, на который волновой процесс при скорости v_ϕ распространится за время T . Длина волны λ зависит как от характеристик источника колебаний (T или v), так и от свойств среды, в которой волна распространяется (v_ϕ – зависит от этих свойств).

При рассмотрении принципа Гюйгенса нужно иметь в виду, что он чисто геометрический и никакого глубокого физического смысла в нем искать не следует.

В вопросе интерференции волн остановиться на следующих моментах:

1. Опыт показывает, что волны не взаимодействуют друг с другом, т. е. выполняется принцип суперпозиции с наложением волн.

2. Объяснить условие когерентности волн и источников. Необходимо подчеркнуть при этом, что результат сложения (результатирующая волна) зависит от соотношения фаз, периодов и амплитуд встречающихся волн, направление колебаний у всех волн должно быть одинаковым.

3. Если оказывается, что при наложении волн происходит перераспределение энергии так, что интенсивность в одних точках больше, а в других – меньше суммарной интенсивности, то здесь наблюдается интерференция.

4. Следует вывести условия максимума и минимума при интерференции. Показать, что интерференционная картина будет устойчивой, если обе волны имеют одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

5. Графически показать распределение интенсивности и интерференционной картины. Откуда видно, что средняя интенсивность интерференционной картины равна сумме интенсивностей обеих волн:

$$J_{\text{ср}} = 2J_0,$$

что согласуется с законом сохранения энергии.

Необходимо записать уравнение стоячей волны, проанализировать его, подчеркнуть то, что стоячая волна возникает в результате сложения двух волн, движущихся в противоположных направлениях (случай интерференции волн). Очень важно отметить, что амплитуда стоячей волны является функцией координаты.

Показать, что расстояние между двумя соседними узлами или соседними пучностями равно половине длины волны.

Возникновение стоячей волны сопровождается перераспределением энергии. Общее значение энергии равно нулю, поэтому стоячая волна энергию не переносит.

Тему «Звуковые волны» можно порекомендовать студентам проработать самостоятельно. При этом указать необходимые вопросы и литературу.

Демонстрации

1. На волновой машине показать механизм распространения волны.
2. Показать интерференцию волн на воде и образование стоячих волн.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Напишите уравнение волны. Что называется фазовой скоростью?
2. Что такое длина волны?
3. Как возникает стоячая волна?
4. Выясните различие между бегущей и стоячей волной в отношении энергии, фаз и амплитуд колеблющихся точек.
5. В чем различие при отражении волн от более плотной и менее плотной среды?
6. Колебательный процесс за 5 с распространился на 100 м. Какова частота колебаний, если длина волны 2 м?
7. Звуковые колебания, имеющие частоту $\nu = 500$ Гц и амплитуду $A = 0,25$ мм, распространяются в воздухе. Длина волны $\lambda = 70$ см. Найдите скорость распространения колебаний и максимальную скорость частиц в воздухе.
8. Волна распространяется вдоль резинового шнура со скоростью 3 м/с при частоте 2 Гц.
В каких фазах находятся точки, отстоящие друг от друга на расстоянии 75 см?

2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

2.1. Кинетическая теория газов

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории газов.
2. Понятие идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная.
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Газовые законы.
4. Число степеней свободы. Распределение энергии по степеням свободы. Длина свободного пробега молекул и число соударений.

Методические указания

Изучение этого раздела естественно начать с определения предмета молекулярной физики и характеристики основных методов ее исследований.

Нужно показать, что в молекулярной физике широко используются как статистический, так и термодинамический методы, которые зачастую дополняют друг друга.

Статистическим (молекулярно-кинетическим) методом называется метод описания свойств макроскопических систем на основе усредненных значений характеристик движения микрочастиц, составляющих эти системы. Метод описания свойств макроскопических систем на основе законов превращения энергии, совершающихся в этих системах, называется термодинамическим. Подробное изложение сути термодинамического метода можно отнести к разделу «Физические основы термодинамики».

Следует обратить внимание и на принципиальное различие этих методов.

Необходимо четко сформулировать основные положения молекулярно-кинетической теории. Указать на то, что эта теория, позволяет с единой точки зрения рассмотреть огромное количество самых разнообразных явлений, вскрыть физическую сущность этих явлений и теоретическим путем вывести многочисленные закономерности, открытые экспериментально и имеющие большое практическое значение.

Обратить внимание на основные экспериментальные факты, которые убеждают в реальном существовании молекул и характера их движения.

Остановиться на том, что успех атомизма вызывали яростное сопротивление со стороны физиков-идеалистов. Реальное существование атомов и молекул отрицала «школа» физиков-идеалистов во главе с Эрнестом Махом.

Ввести понятие идеального газа. С точки зрения молекулярной физики идеальный газ представляет собой простейшую молекулярную систему. Для построения теории идеального газа следует задать его модель. Указать, какие свойства идеального газа считать существенными, строго говоря, это модель одноатомного газа.

Учитывая, что газовые законы подробно изучаются в средней школе, уравнение состояния можно записать без подробного обоснования. Важно проанализировать его и пояснить физический смысл универсальной газовой постоянной.

Вывести основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа. Обратит внимание на то, что вывод этот основывается на применении статистического метода. Оказывается, что наиболее вероятно равномерное распределение молекул газа в данном объеме, хаотически движущиеся молекулы приблизительно в одинаковом количестве движутся в направлении каждой из координатных осей. Скорость большинства молекул мало отличается от средних значений скоростей.

Вывести из основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов формулу для средней кинетической энергии молекулы, дать определение и раскрыть физический смысл постоянной Больцмана, числа Авогадро. Остановиться на молекулярно-кинетическом толковании температуры, указав, что абсолютный нуль – это температура, при которой система частиц находится в состоянии с наименьшей возможной энергией. Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории, как следствие вытекают экспериментальные газовые законы: закон Бойля-Мариотта, Гей-Люссака и другие.

Молекулярно-кинетическая теория, как и всякая теория, лишь приблизительно верно отражает исследуемый объект. Ограничения вытекают из анализа упрощений, которые были сделаны в модели газа. Поэтому и теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы верна лишь при допущении, что частицы движутся по законам ньютоновской механики.

В области низких и в области высоких температур, например, классическая теория теплоемкости не соответствует опыту.

Следует дать определение числа соударений молекул, длины свободного пробега. Вывести соотношения, определяющие их.

Показать, что, несмотря на большие скорости движения молекул, некоторые процессы протекают медленно, например, диффузия газов. Объясняется это тем, что каждая молекула сталкивается с другими молекулами, направление движения молекул при каждом ударе меняется. Траектория приобретает вид изломанной линии, мала длина свободного пробега молекул.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Перечислите основные положения молекулярно-кинетической теории газа. Какие имеются основания принять их в качестве исходных положений теории?

2. Какие взаимодействия возможны между молекулами? Как зависят эти взаимодействия от расстояния между молекулами?

3. Какие закономерности описывают методами статистики?

4. При очень низких температурах средняя длина свободного пробега молекул газа перестает зависеть от давления. Объяснить это явление?

5. Найти число молекул в 1 см^3 газа, находящегося при $t = 27^\circ \text{C}$ под давлением $P = 10^{-12}$ атм.

2.2. Распределение молекул по скоростям

1. Скорости движения молекул, максвелловское распределение молекул по скоростям. Опыт Штерна.

2. Больцмановское распределение молекул в поле силы тяжести.

3. Явления переноса.

Методические указания

Молекулы газа находятся в непрерывном хаотическом движении. Это значит, что все направления движения равновероятны, и что скорости молекул могут быть практически любыми: от незначительных до очень больших.

В результате столкновений в газе устанавливается некоторое стационарное распределение молекул по скоростям при данной температуре.

Закон распределения Максвелла выражает внутреннюю упорядоченность в соответствующем массовом явлении. Следует записать формулу закона распределения Максвелла. Обратить внимание на ее

особенность: функция распределения Максвелла проходит через максимум. Более подробно следует остановиться на качественном анализе кривой распределения.

Обратить внимание на то, что в вопросе распределения молекул по скоростям речь идет не о каком-либо определенном значении скорости, а об интервале скоростей.

При некотором значении скорости кривая распределения переходит через максимум, такой скоростью обладает наибольшее число молекул. Она называется наиболее вероятной скоростью. Из функции распределения Максвелла можно найти наиболее вероятную скорость и среднюю арифметическую. Средняя арифметическая скорость обычно фигурирует в задачах, связанных с подсчетом числа столкновений молекул газа друг с другом, длины свободного пробега молекул и т. д.

Средняя квадратичная скорость определяет кинетическую энергию газа, поэтому ее называют тепловой скоростью. Применяется она, как правило, при подсчетах энергии, давления и в других аналогичных случаях.

Следует сопоставить эти скорости по величине, чтобы не сложилось ошибочное толкование наиболее вероятной скорости как максимальной скорости.

Обязательно проанализировать кривую распределения молекул газа по скоростям для различных температур, дать описание опыта Штерна.

Рассмотреть вопрос о распределении частиц в силовом поле. Из-за недостатка времени следует без вывода записать формулу распределения молекул в потенциальном поле, дать подробный ее анализ.

При изучении явлений переноса: диффузии, теплопроводности и внутреннего трения в газах, – важно уяснить, что все эти явления представляют собой примеры переноса молекулярных характеристик молекул (массы, энергии, количества движения из одной части объема газа в другую). В силу общности молекулярного механизма и математической интерпретации этих явлений, их объединяют в одну группу, называя *явлениями переноса*. Надо понимать, что перенос происходит не в результате хаотического движения молекул, а по причине некоторых нарушений этой хаотичности, вызванных направленным воздействием на газ с появлением градиентов плотности, температуры и скорости.

Достаточно привести формулы эмпирических законов явлений переноса: Фука, Ньютона, Фурье.

Показать, что коэффициент диффузии, коэффициент внутреннего трения, коэффициент теплопроводности связаны с микрохарактеристиками теплового движения молекул. Кроме того, они связаны между собой.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Какая скорость характеризует среднюю кинетическую энергию молекул? Какая скорость входит в выражение для средней длины свободного пробега молекул?
2. В какую сторону сместится максимум кривой Максвелла при повышении температуры газа?
3. Какой физический смысл имеет площадь, ограниченная кривой Максвелла и осью абсцисс?
4. Дана величина $\Delta n/\Delta v$. Найти зависимость средней квадратичной скорости молекулы от молекулярной массы газа.
5. Чему равна концентрация частиц, хаотически движущихся в поле силы тяжести, если абсолютная температура $T = \infty$?
6. В чем сущность явлений переноса? Каковы условия их возникновения и каковы их закономерности?
7. Найти коэффициент внутреннего трения азота при нормальных условиях, если коэффициент диффузии для него при этих условиях $1,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

2.3. Физические основы термодинамики

1. Термодинамический метод. Основные понятия термодинамики.
2. Две формы передачи энергии.
3. Первое начало термодинамики и его применение к изопроцессам в газах. Теплоемкость газов.

Методические указания

Прежде всего нужно дать общую характеристику молекулярно-кинетического и термодинамического методов изучения макроскопических тел. Охарактеризовать их в сравнении друг с другом. Следует обратить внимание и на их принципиальное различие.

Вопросы, изученные в предыдущих лекциях, рассматривались методом молекулярно-кинетической теории или статистической физики. Метод описания свойств макроскопических систем на основе законов сохранения и превращения энергии, совершающихся в этих случаях, называется *термодинамическим*.

По существу термодинамика изучает те же явления, которые рассматриваются в молекулярно-кинетической теории: диффузию, кристаллизацию, плавление твердых тел и т. д. Однако термодинамическое рассмотрение этих вопросов существенно отличается от молекулярно-кинетического. Термодинамика не отвечает на вопрос, почему данные процессы происходят именно таким образом. Она только объясняет, как протекает данный процесс. Ответ на вопрос о причине происхождения явлений дает молекулярно-кинетическая теория.

Современная термодинамика – это наука, изучающая взаимную связь между различными видами энергии и влияние этой связи на свойства физических тел.

Следует дать общее понятие о термодинамических параметрах: объем, давление, температура. Особо остановиться на определении внутренней энергии, как термодинамической функции состояния. Вычислить величину внутренней энергии одноатомного идеального газа для одного моля. Показать, что внутренняя энергия идеального газа полностью определяется его абсолютной температурой. Кроме того, следует уяснить, что под внутренней энергией имеют в виду не полную энергию, а только ту часть ее, которая изменяется в указанных явлениях.

Дать понятия равновесного состояния системы, термодинамического процесса и способов его изображения.

Необходимо подчеркнуть, что с точки зрения термодинамики существуют две единственно возможные формы обмена энергией между макроскопическими телами – теплопередача (теплообмен) и работа.

Как и работа, теплопередача характеризует процесс обмена энергией. Поэтому говорить о «запасе тепла» или о «запасе работы» в системе бессмысленно. Энергия, полученная или отданная системой в процессе теплопередачи, называется *количеством тепла*.

Следует обратить внимание на графическое изображение работы при различных процессах, в частности, при круговом процессе.

Основное содержание этой темы составляет изложение первого начала термодинамики. Необходимо остановиться на различных формулировках первого начала, в том числе и на утверждении о невозможности осуществления вечного двигателя первого рода, дать уравнение первого начала термодинамики в интегральной и дифференциальной форме.

Применить уравнение первого начала термодинамики для анализа простейших процессов: изохорического, изобарического, изотермического, адиабатического. Графически показать зависимость между давлением и объемом для этих процессов. Необходимо вывести формулы,

по которым вычисляется работа, совершаемая в изопроцессах. Однако вывод уравнения адиабаты и работы, совершенной газом в адиабатическом процессе из-за недостатка времени можно не производить.

Привести примеры практического использования процессов.

Рассматривая изопроцессы, следует разобрать вопрос о теплоемкости газов. Получить уравнение Р. Майера. Объяснить, почему теплоемкость при постоянном давлении больше теплоемкости при постоянном объеме. Показать, что теплоемкость газа при изотермическом процессе бесконечно велика, а при адиабатическом равна нулю.

Нужно отметить важное методологическое значение первого начала термодинамики как закона сохранения и превращения энергии. Однако содержание первого начала термодинамики недостаточно для исчерпывающего описания тепловых процессов в природе, т. к. не указывает на их направление протекания.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Каков физический смысл универсальной газовой постоянной?
2. Какой процесс называется изотермическим? Изохорическим? Постройте график этих процессов в координатах (P, V) .
3. Каковы особенности адиабатного процесса?
4. В чем сущность первого начала термодинамики? Как его можно сформулировать?
5. Напишите и исследуйте уравнение первого начала термодинамики для газа при различных изопроцессах в нем.
6. Углекислый газ, нагреваясь от 15 до 35 °С, расширяется при постоянном давлении. Определить работу расширения, если масса газа 2 кг.
7. Один моль идеального газа заключен в цилиндр с вертикальными стенками, закрытый сверху поршнем с грузом. В каком случае газу нужно сообщить больше тепла для увеличения его температуры на $\Delta T^\circ = 1\text{К}$? Если газ нагревать, закрепив поршень или не закрепляя, когда поршень может перемещаться без трения?

2.4. Второе начало термодинамики

1. Круговые, обратимые и необратимые процессы.
2. Принцип действия тепловой и холодильной машин. Идеальная тепловая машина Карно и ее коэффициент полезного действия (КПД).
3. Второе начало термодинамики. Энтропия.

Методические указания

По первому вопросу дать понятие круговых процессов. Показать, что они образуют замкнутые циклы, в результате каждого цикла происходит преобразование некоторого количества тепла в работу или наоборот, соответственно можно получить тепловую и холодильную машины. Основным экономическим показателем тепловых машин является их КПД.

В качестве примера кругового процесса следует рассмотреть цикл С. Карно. Показать, что он обладает оптимальными свойствами. Необходимо вывести формулу КПД для цикла Карно.

Заключение о том, что КПД периодически действующей тепловой машины всегда меньше единицы, является одной из формулировок второго начала.

Из второго начала термодинамики вытекает существование еще одной характеристики термодинамической системы – энтропии, которая является функцией состояния, мерой вероятности состояния, мерой неупорядоченности системы. При всех, происходящих в замкнутой системе тепловых процессах, энтропия системы возрастает. Этот закон был открыт Клаузиусом и является количественной формулировкой второго начала термодинамики. Следует уяснить, что, если первое начало термодинамики устанавливает количественную эквивалентность теплоты и работы, то второе начало устанавливает существование свойств теплоты, которые обуславливают качественное различие теплоты и работы, объясняют направленность процессов в замкнутых термодинамических системах.

Второе начало термодинамики, как и первое, имеет ряд эквивалентных формулировок.

Можно ознакомить студентов с формулировкой Р. Клаузиуса: «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплomu». Раскрыть смысл этой формулировки.

Привести формулировку второго начала термодинамики данную Томсоном: «Некомпенсированный переход теплоты в работу невозможен» и формулировку М. Планка о невозможности вечного двигателя второго рода.

Важно отметить, что второе начало термодинамики выражает необходимые закономерности теплового движения большого числа частиц тел, входящих в состав изолированной системы. В связи с этим нужно остановиться на ошибочных идеалистических выводах о так называемой «тепловой смерти» Вселенной, сделанных некоторыми фи-

зиками и философами конца прошлого века. Необходимо рассказать студентам об ограниченности применения второго начала термодинамики, ошибочности распространения его на всю Вселенную и на бесконечно большие промежутки времени.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Какой процесс называется круговым, обратимым и необратимым?
2. Почему все реальные процессы необратимы?
3. Начертите обратимый процесс Карно и выведите выражение для его термического коэффициента полезного действия.
4. Как понимать смысл слов «сама собой» в формулировке второго начала термодинамики данной Клаузиусом?
5. Что такое вечный двигатель второго рода? Возможен ли он?
6. Почему цикл Карно считают идеальным? Дайте формулировки второго начала термодинамики.
7. За цикл двигатель получит от нагревателя 0,5 ккал теплоты. Термический КПД двигателя 0,2. Какую работу выполняет двигатель за один цикл?
8. Найти изменение энтропии в адиабатном процессе?
9. Что такое энтропия и свободная энергия?

3. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

3.1. Электрическое поле неподвижных зарядов

1. Понятие об электрическом заряде, закон сохранения заряда, закон Кулона.
2. Понятие электростатического поля. Напряженность поля.
3. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение к вычислению полей.
4. Работа сил поля при перемещении зарядов. Циркуляция вектора напряженности. Потенциальный характер электростатического поля.
5. Потенциал. Градиент потенциала. Связь между напряженностью и потенциалом.

Методические указания

Опыт показывает, что нередко студенты уделяют электростатике недостаточно внимания. Тогда как эта часть является фундаментом при изучении раздела «Электричество».

Приступая к изучению электростатики необходимо прежде всего познакомиться с историей развития представлений о природе электричества, обратить внимание на трудность определения электрического заряда. Уяснить, что наличие у тела электрического заряда означает способность его к электромагнитному взаимодействию с другими телами, характер этого взаимодействия следует рассмотреть на примере заряженных элементарных частиц. Особо следует подчеркнуть дискретную атомистическую природу электрического заряда, введя понятие электрона как частицы, являющейся носителем элементарного отрицательного заряда.

Рассматривая вопрос об электризации тел, следует сформулировать закон сохранения электрических зарядов.

Показать, что заряды лишь перераспределяются между частями замкнутой системы, суммарный электрический заряд которой остается неизменным.

Закон Кулона нужно записать в системе СИ, отметив, что он справедлив только для взаимодействия точечных зарядов, дать понятие электростатического поля. Особо подчеркнуть, что электростатическое поле представляет одну из форм существования материи, определенным образом распределено в пространстве, где находятся заряды, его вызывающие. Электростатическое поле обладает энергией, зарядом и другими признаками материи.

Указать на главное свойство электрического поля – его действие на электрические заряды с некоторой силой.

Дать определение напряженности электростатического поля. Остановиться на ее силовой характеристике и векторном характере. Показать метод вычисления напряженности поля в точке с учетом принципа суперпозиции полей, созданных различными зарядами в данной точке поля.

Для графического изображения электрического поля ввести понятие силовой линии (линия напряженности), дать понятие потока напряженности.

Важнейшей теоремой в электростатике является теорема Остроградского-Гаусса. Она представляет значительный практический интерес. С ее помощью можно очень просто определить напряженность полей, создаваемых заряженными телами различных форм, имеющих ось симметрии. Следует рассмотреть примеры:

- напряженность поля равномерно заряженной бесконечной плоскости;

- напряженность поля между двумя бесконечными параллельными, равномерно заряженными плоскостями;

- напряженность заряженного цилиндра.

Показать, что при перемещении электрического заряда в поле совершается работа, которая не зависит от формы пути, а определяется положением начальной и конечной точек. Поля, обладающие таким свойством, называются *потенциальными*. Характерным для электростатического поля является то, что циркуляция вектора напряженности по любому замкнутому контуру равна нулю.

Энергетической характеристикой электростатического поля является потенциал.

Необходимо отметить, что физический смысл имеет только разность потенциалов между рассматриваемыми точками поля. Потенциал произвольной точки поля нескольких зарядов равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых в этой точке каждым зарядом.

Усвоив физический смысл понятий напряженности поля и потенциала, следует внимательно рассмотреть связь между этими величинами. Напряженность поля равна градиенту потенциала, взятому с обратным знаком. Знак минус обусловлен тем, что напряженность поля направлена в сторону убывания потенциала, тогда как градиент потенциала направлен в сторону возрастания потенциала. Это соотношение позволяет решить ряд практических задач на вычисление как потенциала поля, так и емкости проводников различной формы.

Показать, что единицей измерения напряженности электрического поля в системе СИ является 1 В/м.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Какие заряды называются точечными?
2. Сформулируйте закон Кулона. Каков физический смысл коэффициента K в законе Кулона? В каком случае он равен единице? Каково его значение в системе СИ?
3. Что называется электрическим полем?
4. Что такое напряженность поля? Как направлен вектор напряженности?
5. Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса.
6. Как выражается напряженность в непосредственной близости от заряженной поверхности?
7. Что такое потенциал поля? Разность потенциалов?
8. Какой формулой выражается работа перемещения заряда в электрическом поле?
9. Чему равен полный поток вектора электрического смещения через замкнутую поверхность, не охватывающую заряд?

3.2. Диэлектрики и проводники в электрическом поле

1. Диэлектрики в электрическом поле.
 - 1.1. Проводники и диэлектрики.
 - 1.2. Диполь в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации.
 - 1.3. Полярные и неполярные диэлектрики, ориентационная и деформационная поляризации.
 - 1.4. Диэлектрическая проницаемость, ее температурная зависимость.
2. Проводники в электрическом поле.
 - 2.1. Напряженность поля внутри проводника.
3. Емкость проводника. Конденсаторы.
 - 3.1. Энергия электростатического поля. Плотность энергии.

Методические указания

Следует описать основные свойства проводников и диэлектриков с точки зрения представлений классической физики.

Дать определения упругого и жесткого диполей, дипольного момента. Объяснить явление поляризации тел, состоящих из жестких диполей, из упругих диполей и ионных кристаллов. Дать качественную картину возникновения ориентационной и деформационной поляризации. Показать как связана электрическая восприимчивость с вектором поляризации и с диэлектрической проницаемостью вещества.

Дать определение диэлектрической проницаемости. Указать, что она характеризует свойство диэлектрика поляризоваться в электрическом поле, а также учитывает влияние среды на силу взаимодействия.

Следует качественно рассмотреть зависимость диэлектрической проницаемости от температуры. Обратить внимание на то, что поляризация неполярных диэлектриков мало зависит от температуры, в то время как у полярных диэлектрическая проницаемость с ростом температуры заметно уменьшается.

Описать опыты, доказывающие, что электрические заряды располагаются на внешней поверхности проводника.

Рассмотреть вопрос о поле в проводнике. Отметить, что в статическом состоянии напряженность электрического поля внутри проводника равна нулю, и все его точки имеют одинаковый потенциал, заряженный проводник является эквипотенциальным телом и его поверхность служит эквипотенциальной поверхностью. Силовые линии внешнего поля вблизи проводника перпендикулярны его поверхности.

Дать определение электрической емкости проводника, ее физического смысла, единицы измерения.

Показать, что емкость уединенного проводника мала и определяется только его размерами и формой.

Устройства, которые при небольшом потенциале накапливают на себе заметные по величине электрические заряды называются конденсаторами. В их основу положен тот факт, что электроемкость проводника возрастает при приближении к нему других тел.

Практически очень важен и тот факт, что электрическое поле конденсатора сосредотачивается почти целиком в узком зазоре между его обкладками, так что его электроемкость не зависит от наличия других проводников и диэлектриков вблизи конденсатора.

Следует вывести формулу емкости плоского конденсатора в системе СИ.

Энергию заряженного конденсатора можно рассматривать либо как энергию взаимодействия зарядов, сосредоточенных на его обкладках, либо как энергию создаваемого этими зарядами электрического поля. Вве-

сти понятие плотности энергии электрического поля, из формулы которой видно, что энергия принадлежит самому полю, так как ее плотность зависит от величины, характеризующей именно поле – напряженности E .

Следует уже здесь обратить внимание на то, что неподвижные электрические заряды создают вокруг себя электрическое поле, магниты и токи – магнитное. Однако в природе существует единое электромагнитное поле, а разделение поля на электрическое и магнитное относительно и зависит от выбора системы отсчета.

Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Что такое диполь? Каковы его электрические характеристики?
2. Какое действие оказывает электрическое поле на находящийся в нем диэлектрик?
3. Как связана электрическая восприимчивость с вектором поляризации? С диэлектрической проницаемостью?
4. Какой формулой выражается связь между потенциалом, зарядом и емкостью проводника?
5. От каких факторов зависит емкость проводника?
6. Для каких диэлектриков получены зависимости 1 и 2, показанные на рисунке 1?

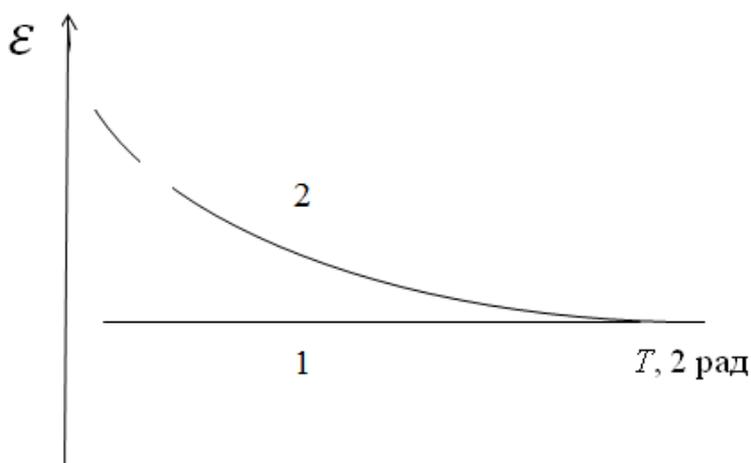


Рисунок 1 – Зависимость диэлектрической проницаемости для различных типов диэлектриков

7. Как выражается объемная плотность электрической энергии поля плоского конденсатора?
8. Изменится ли энергия заряженного конденсатора, если расстояние между его пластинами уменьшить в 2 раза? Меняется ли при этом плотность энергии поля?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – М. : Высшая школа, 2002. – 541 с.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики : учеб. пособие для вузов : в 5 кн. Кн 1. Механика. Молекулярная физика / И. В. Савельев. – СПб. : Лань, 2005. – 432 с.
3. Детлаф, А. А. Курс физики : учеб. пособие для студ. вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. : Академия, 2003. – 719 с.
4. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов : в 5 т. Т. 1. Механика / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 2014. – 560 с.
5. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов : в 5 т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1975. – 552 с.
6. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов : в 5 т. Т. 3. Электричество / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 2015. – 654 с.
7. Тамм, И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : Физматлит, 2003. – 616 с.
8. Волькенштейн, В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. – М. : Наука, 1979. – 352 с.

Производственно-практическое издание

Шершне Евгений Борисович,
Купо Александр Николаевич,
Лукашевич Светлана Анатольевна

ОБЩАЯ ФИЗИКА
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ,
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА,
ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Практическое пособие

Редактор Е. С. Балашова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 16.01.2024. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 2,54.
Тираж 10 экз. Заказ 19.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий в качестве:
издателя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013 г.;
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 г.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.