

**Санкт-Петербургское государственное бюджетное
профессиональное образовательное учреждение
«Училище олимпийского резерва № 1»**

ПРИНЯТО
Педагогическим советом
протокол № 13 от 18 июня 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ
ДИРЕКТОР СПб ГБПОУ «УОР № 1»

_____ **В.А. КУЗНЕЦОВ**

19 июня 2024 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

БД.08 ФИЗИКА

программа подготовки специалистов среднего звена
49.02.01 Физическая культура

Санкт-Петербург
2024 год

Организация-разработчик: Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Училище олимпийского резерва № 1».

Разработчик: Березина М.Г., преподаватель дисциплины БД.08 Физика.

Рассмотрено на заседании предметно-цикловой комиссии общеобразовательных, гуманитарных и естественнонаучных дисциплин СПб ГБПОУ «УОР № 1»

Протокол № 10 от 31 мая 2024 г.

Председатель предметно-цикловой комиссии общеобразовательных, гуманитарных и естественнонаучных дисциплин – А.В. Тимофеева

Утверждено приказом СПб ГБПОУ «УОР № 1» от 19.06.2024 № 181 «Об утверждении учебных планов, графиков учебного процесса, рабочих программ учебных дисциплин (модулей) и практик, фондов оценочных средств, учебно-методических рекомендаций, рабочей программы воспитания, календарного плана воспитательной работы на 2024-2025 учебный год – образовательных программ среднего профессионального образования по специальности 49.02.01 Физическая культура»

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ БД.08 ФИЗИКА	4
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ БД. 08 ФИЗИКА	9
Практическое занятие № 1 Кинематика поступательного и вращательного движения	9
Практическое занятие № 2 Динамика поступательного и вращательного движения	20
Практическое занятие № 3 Закон сохранения импульса. Закон сохранения энергии.	27
Практическое занятие № 5 Основы молекулярно-кинетической теории газа	35
Практическая работа № 7 Тепловые явления	43
Практическое занятие № 8 Тепловые двигатели	53
Практическое занятие № 9 Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков	60
Практическое занятие № 10 Параллельное и последовательное соединение проводников	62
Практическое занятие № 11 Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля тока	65
Практическое занятие № 12 Применение электромагнитных волн	68
Практическое занятие № 13 Линзы. Построение изображения в линзах	71
Практическое занятие № 14 Применение фотоэффекта	75
Практическое занятие № 15 Строение атома. Постулаты Бора	80
Практическое занятие № 16 Изучение солнечной системы	85

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ БД.08 ФИЗИКА

Методические рекомендации разработаны в соответствии с содержанием рабочей программы дисциплины БД.08 Физика, изучаемой на 1 курсе.

Рекомендации предназначены для оказания помощи обучающимся при выполнении заданий на практических занятиях.

Практическое занятие - это одна из форм учебной работы, ориентированная на систематизацию изученного теоретического материала, его более глубокое усвоение, на формирование общих и профессиональных компетенций (ОК 04, 05, 09, ПК 2.3) и на умения применять теоретические знания в практических целях.

Преподаватель имеет возможность наблюдать за работой каждого обучающегося, оказывать ему необходимую методическую и консультационную помощь.

Практические занятия являются важной формой, способствующей усвоению курса физики. Выполнение практических заданий направлено на достижение следующих целей:

- обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;
- формирование умений, получение первоначального практического опыта по выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями к результатам освоения дисциплины.

Содержание практических занятий является решением разного рода задач-работа с литературой, справочниками, заполнение таблиц, схем, ответы на вопросы, анализ текстов.

Тематика, содержание и количество часов, отводимое на практические занятия, зафиксировано в рабочей программе дисциплины БД.08 Физика.

Перечень практических заданий планируется с таким расчетом, чтобы за отведенное время обучающиеся смогли их качественно выполнить.

Основными этапами практического занятия являются:

- 1) проверка знаний обучающихся – их теоретической подготовленности к занятию;
- 2) инструктаж, проводимый преподавателем;
- 3) выполнение заданий;
- 4) последующий анализ и оценка выполненных работ и степени овладения, обучающихся запланированными умениями.

Темы практических занятий:

1. Решение задач по кинематике 2ч
2. Решение задач по динамике 1ч
3. Применение законов сохранения. Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований, границы применимости классической механики 1ч
4. Решение задач Молекулярная физика и термодинамика 1ч
5. Решение задач по термодинамике 1ч
6. Приборы для определения влажности воздуха 1ч

Практические занятия по физике предназначены для студентов 1 курса СПО для специальностей технического профиля. На курс отведено 46 часов. Предлагаемый курс основан на знаниях и умениях, полученных студентами при изучении физики на теоретических занятиях. Цели и задачи практических занятий: - развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей в процессе решения физических задач и самостоятельного приобретения новых знаний; - воспитание духа сотрудничества в процессе совместного выполнения задач, выполнения лабораторных работ; -уметь применять знания по физике для объяснения явлений природы, свойств вещества, решения физических задач, самостоятельного приобретения и оценки новой информации физического содержания, использования современных информационных технологий, использование приобретенных знаний и умений для решения практических, жизненных задач. Курс практических занятий прежде всего ориентирован на развитие у студентов интереса к занятиям, на организацию самостоятельного познавательного процесса и самостоятельной практической деятельности.

Практические занятия по физике направлены на формирование у обучающихся учебных

практических умений, к которым относится умение решать задачи по физике. Решение задач по физике - необходимый элемент учебной работы. Задачи дают материал для упражнений, требующих применения физических

закономерностей к явлениям, протекающим в тех или иных конкретных условиях. В связи с этим они имеют большое значение для конкретизации знаний учащихся, для привития или умения видеть различные конкретные проявления общих законов. Без такой конкретизации знания остаются книжными, не имеющими практической ценности. Решение задач способствует более глубокому и прочному усвоению физических законов, развитию логического мышления, сообразительности, инициативы, воли к настойчивости в достижении поставленной цели, вызывает интерес к физике, помогает в приобретении навыков самостоятельной работы и служит незаменимым средством для развития самостоятельности суждения. Решение задач - это один из методов познания взаимосвязи законов природы. В процессе решения задач обучающиеся непосредственно сталкиваются с необходимостью применить полученные знания по физике в жизни, глубже осознают связь теории с практикой. Решение задач - одно из важных средств повторения, закрепления и проверки знаний учащихся.

Виды задач и способы их решения

Задачи по физике разнообразны по содержанию, и по дидактическим целям. Их можно классифицировать по различным признакам. По способу выражения условия физические задачи делятся на четыре основных вида: текстовые, экспериментальные, графические и задачи рисунки. Каждый из них, в свою очередь, разделяется на количественные (или расчетные) и качественные (или задачи вопросы). В то же время основные виды задач можно разделить по степени трудности на легкие и трудные, тренировочные и творческие задачи и другие типы.

В учебном процессе по физике наиболее часто используют текстовые задачи, в которых условие выражено словесно, текстуально, причем в условии есть все необходимые данные, кроме физических постоянных. По способам решения их разделяют задачи - вопросы, и расчетные (количественные). При решении задач-вопросов требуется (без выполнения расчетов) объяснить то или иное физическое явление или предсказать, как оно будет протекать в определенных условиях. Как правило, в содержании таких задач отсутствуют числовые данные. Отсутствие вычислений при решении задач-вопросов позволяет сосредоточить внимание учащихся на физической сущности. Необходимость обоснования ответов на поставленные вопросы приучает обучающихся рассуждать, помогает глубже осознать сущность физических законов. Решение задач-вопросов выполняют, как правило, устно, за исключением тех случаев, когда задача содержит графический материал. Ответы могут быть выражены и рисунками. К задачам-вопросам тесно примыкают задачи - рисунки. В них требуется устно дать ответы на вопрос или изобразить новый рисунок, являющийся ответом на рисунок задачи. Решение таких задач способствует воспитанию у обучающихся внимания, наблюдательности и развитию графической грамотности.

Количественные задачи - это задачи, в которых ответ на поставленный вопрос не может быть получен без вычислений. При решении таких задач качественный анализ так же необходим, но его дополняют еще и количественным анализом с подсчетом тех или иных числовых характеристик процесса. Количественные задачи разделяют по трудности на простые и сложные. Под простыми задачами понимают задачи, требующие несложного анализа, и простых вычислений, обычно в одно - две действия.

Для решения количественных задач могут быть применены разные способы: алгебраический, геометрический, графический. Алгебраический способ решения задач заключается в применении формул и уравнений. При геометрическом способе используют теоремы геометрии, а при графическом - графики. В особый тип выделяют задачи межпредметного содержания отражающие связь физики с другими учебными дисциплинами. В задачах с историческим содержанием обычно используют факты из истории открытия законов физики или каких-либо изобретений. Они имеют большое познавательное воспитательное значение.

Эксперимент в задачах используют по-разному. В одних случаях из опыта, проводимого на демонстрационном столе, или из опытов, выполняемых обучающимися самостоятельно, находят данные необходимые для решения задачи. В других случаях задача может быть решена на основе данных, указанных в условиях задачи. Опыт в таких случаях используют для иллюстрации явлений и процессов, описанных в задаче, или для проверки правильности решения. Но если эксперимент применяется только для проверки решения, задачу неправомерно называть экспериментальной. Существенным признаком экспериментальных задач является то, что при их решении и данные

берутся из опыта. В процессе решения экспериментальных задач у учащихся развивается наблюдательность, совершенствуются навыки обращения с приборами. При этом школьники глубже познают сущность физических явлений и законов.

В графических задачах в процессе решения используют графики. По роли графиков в решении задач различают такие, ответ, на который может быть получен на основе анализа уже имеющего графика, и в которых требуется графически выразить функциональную зависимость между величинами. Решение графических задач способствует уяснению функциональной зависимости между величинами, привитию навыков работы с графиком. В этом их познавательное и политехническое знание.

Физические задачи, в условии которых не хватает данных, для их решения называют **задачами с неполными данными**. Недостающие данные для таких задач находят в справочниках, таблицах и в других источниках. С такими задачами учащиеся будут часто встречаться в жизни, в связи с этим решение в школе подобных задач очень ценно. Для того, чтобы проявить учащимся интерес к решению задач необходимо их умело подбирать. Содержание задач должно быть понятным и интересным, кратко и четко сформулированным. Математические операции в задаче не должны затушевывать ее физический смысл, необходимо избегать искусственности и устаревших числовых данных в условиях задач.

Начинать решение задач по темам нужно с простейших, в которых внимание учащихся сосредотачивается на закономерности, изучаемой в данной теме, или на уточнении признаков нового понятия, установлении его связи с другими понятиями. Затем постепенно следует переходить к более трудным задачам.

Аналитико-синтетический метод - основной метод решения задач по физике. Удачное применение его в учебном процессе позволяет вести обучающихся по правильному пути отыскания решения задачи, и способствует развитию их логического мышления. В методических пособиях по физике довольно часто анализ, и синтез рассматривают как два самостоятельных метода. При решении физических задач используют анализ и синтез, взятые в совокупности, т.е. практически применяют аналитико-синтетический метод. При этом методе решения путем анализа, начиная с вопроса задачи, выясняют, что необходимо знать для ее решения, и, постепенно расчлняя сложную задачу на ряд простых, доходят до известных величин, данных в условии. Затем с помощью синтеза рассуждения проводят в обратном порядке: используя известные величины, и подбирая необходимые соотношения, производят ряд действий, в результате которых находят неизвестное.

Поясним это на примере следующей задачи:

"Найдите давление на почву гусеничного трактора массой 10 т, если длина опорной части гусеницы 2 м, а ширина 50 см".

Анализ: Чтобы определить давление трактора на почву, необходимо знать действующую на него силу тяжести, и площадь опоры. Сила тяжести в задаче не дана, площадь опоры не указана. Для определения общей площади опоры, т.е. площади опорной части двух гусениц, необходимо узнать площадь опоры одной гусеницы и умножить ее на два. Площадь одной части одной гусеницы можно определить, так как известны ее ширина и длина. Силу тяжести, действующую на трактор, можно найти по известной его массе.

Синтез: Рассуждение ведут в обратном порядке, в его ходе составляют план решения и производят необходимые вычисления. Последовательность рассуждения примерно следующая. Зная ширину длину опорной части гусеницы, можно определить опорную площадь одной гусеницы. Для этого необходимо длину на ширину. Зная опорную площадь одной гусеницы, можно определить общую площадь опоры трактора. Для этого необходимо найденную площадь, т.е. площадь опорной части одной гусеницы, умножить на два. Зная массу трактора, находят силу тяжести, действующую на него. По силе тяжести и площади опоры можно определить давление трактора на почву. Для этого силу тяжести необходимо разделить на площадь опоры.

Методика решения качественных задач.

Как уже было сказано выше, задачи-вопросы решают устно. Чтобы воспитать у обучающихся навык сознательного подхода к решению качественных задач, нужна определенная система работы с ними учителя и продуманная методика обучения. Немалое значение имеет правильный подбор задач. Наиболее доступны на первых порах задачи, в которых предлагается дать объяснение явлением природы, или фактам, известным учащимся из личного опыта. В них обучающиеся увидят связь с жизнью. Важно учитывать при подборе задач характер производственного окружения и местные условия. Решение качественных задач включает три этапа: чтение условия, анализ задачи и решение. При анализе содержание задачи используют,

прежде всего, общие закономерности, известные обучающимся по данной теме. После этого выясняют, как конкретно должно быть объяснено то явление, которое описано в задаче. Ответ к задаче получают как завершение проведенного анализа. В качественных задачах анализ условия тесно сливается с получением нужного обоснованного ответа.

Пример: Реактивный двигатель совершает работу при перемещении ракеты. Вследствие этого энергия ракета возрастает. Пусть E_1 - механическая энергия ракеты в начальный момент времени; A - работа, совершенная двигателем за некоторый промежуток времени; E_2 - механическая энергия ракеты конечный момент времени. Тогда можно утверждать, что изменение механической энергии тела равно работе внешней силы. $E_2 - E_1 = A$, или $E_2 = E_1 + A$. В данном примере работа, совершенная двигателем, положительная. В связи с этим энергия ракеты возросла.

Методика решения количественных задач. Решение сложных количественных задач на уроке складывается обычно из следующих элементов: чтения условия задачи, краткой записи условия и его повторения, выполнения рисунка, схемы или чертежа, анализа физического содержания задачи и выявления путей (способов) ее решения, составления плана решения и выполнения решения в общем виде, прикидки и вычисления, анализа результата и проверки решения.

Чтение и запись условия задачи. Следует кратко записать условие и сделать чертеж или схему. Условие нужно еще раз повторить. Анализ условия. При разборе задачи, прежде всего обращают внимание на физическую сущность ее, на выяснения физических процессов, и законов, рассматриваемых в данной задаче, зависимостей между физическими величинами. Нужно терпеливо, шаг за шагом приучать обучающихся, проводить анализ задачи для отыскания правильного пути решения, так как это способствует развитию логического мышления и воспитывает сознательный подход к решению задач. Разбор задачи на уроке часто проводят коллективно в виде беседы, в ходе которого в результате обсуждения логически связанных между собой вопросов постепенно подводит обучающихся к наиболее рациональному способу решения задач. Иногда полезно разобрать несколько вариантов решения одной и той же задачи, сопоставить их, и выбрать наиболее рациональный. Нужно систематически приучать обучающихся самостоятельно анализировать задачи, требуя от них вполне сознательного и обоснованного рассуждения.

Решение задачи. После разбора условия задачи переходят к ее решению. Решение задачи необходимо сопровождать краткими пояснениями. Ответ задачи рекомендуется выделить, например, подчеркнуть его. Все это приучать обучающихся к четкости и аккуратности в работе.

Проверка и оценка ответов. Полученный ответ задачи необходимо проверить. Прежде всего, нужно обратить внимание обучающихся на реальность ответа. В некоторых случаях при решении задачи обучающиеся получают результаты, явно не соответствующие условию задачи, а иногда противоречащие здравому смыслу. Происходит это от того, что в процессе вычислений они теряют связь с конкретным условием задачи. Необходимо научить оценивать порядок ответа не только с математической, но и с физической точки зрения, чтобы обучающиеся сразу видели абсурдность таких, например, ответов: КПД какого либо механизма больше ста процентов, температура воды при обычных условиях меньше 00С или больше 1000С, плотность железа 78 г/см³.

Обучающиеся должны усвоить, что правильность решения задачи можно проверить, решив ее другим способом и сопоставить результаты этих решений, а также выполнив операции с наименованиями единиц физических величин и сравнив ответ с тем наименованием, которое должно получиться в задаче. Чтобы проверить правильность найденного решения в общем виде надо в формулу, выражающую решение, вместо буквенных обозначений величин подставить наименования единиц физических величин и произвести с ними те же операции, которые выполнялись бы с вычислениями. Пусть, например, мы нашли формулу для определения осадки "корабля, банки". Для проверки решения вместо букв подставляем единицы физических величин. В результате получаем (м) (метр), т.е. наименование единицы длины, что и соответствует условию задачи. Способы записи условия и решения задач Можно применять различные формы записи условия задачи, но любая из них должна удовлетворять основным требованиям краткости и ясности. Поясним сказанное на конкретных примерах задач.

Методика решения экспериментальных задач

Методы решения экспериментальных задач в значительной мере зависят от роли эксперимента в их решении. В других типах экспериментальных задач ярко выступает их специфика, и в связи с этим методика решения, и оформления имеет свои особенности. Решение и оформление экспериментальной задачи расчетного характера складывается из следующих

элементов: постановка задачи, анализ условия, измерения, расчет, опытная проверка ответа.

Постановка задачи. На столе имеется прямоугольная жестяная банка, весы, набор гирь, масштабная линейка, сосуд с водой, песок. Для обеспечения вершинного положения банки при плавании ее немного погружают песком. Определите глубину осадки банки при ее погружении в воду.

В данном случае условие задачи можно выразить рисунком с подписью вопроса под ним. Затем переходят к анализу, выясняют, какие изменения необходимо выполнить для решения задачи.

Анализ. Ванна будет погружаться в воду до тех пор, пока сила тяжести, действующая на нее вместе с песком, не уравновесится выталкивающей силой воды, действующей на банку снизу. В этом случае. Но т.к. Архимедова сила равна весу вытесненной телом жидкости, то $F_A = \rho V_{\text{в}} g$, где $V_{\text{в}}$ - объем погруженной части банки, ρ - плотность воды. Объем погруженной части равен произведению площади основания (S) на глубину погружения в воду (h). Следовательно, $F_A = \rho g V_{\text{в}} = \rho g h S$. Откуда $h = \frac{F_A}{\rho g S}$ (1). Из формулы (1) видно, что для решения задачи необходимо знать вес банки с песком, плотность воды и площадь основания банки.

Измерения. Измеряют вес F банки с песком с помощью динамометра. Измеряют длину l и ширину a основания. Определяют площадь основания $S = la$. Плотность воды: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Опытная проверка. На вертикальной банке цветной линией отмечают глубину погружения, найденную из опыта и последующих расчетов, и ставят банку в сосуд с водой. Опыт показывает, что глубина погружения совпадает с найденным значением. В связи с решением задачи принцип определения осадки корабля. В экспериментальных качественных задачах опыт ставят в тот момент, когда в нем возникает необходимость.

Некоторые экспериментальные задачи могут быть поставлены фронтально. Примеры таких задач: "Давление воды на дно стакана, пользуясь линейкой" (VII класс), "Определите мощность тока, потребляемого электролампой". В этом случае они выполняют роль фронтальных опытов.

Оценка работы студентов при выполнении практических работ

Оценка «5» ставится в следующем случае: - работа выполнена полностью; - сделан перевод единиц всех физических величин в «СИ», все необходимые данные занесены в условие, правильно выполнены чертежи, схемы, графики, рисунки, сопутствующие решению задач, правильно проведены математические расчеты и дан полный ответ; - на качественные и теоретические вопросы дан полный, исчерпывающий ответ литературным языком в определенной логической последовательности; - студент обнаруживает верное понимание физической сущности рассматриваемых явлений и закономерностей, законов и теорий, дает точное определение и истолкование основных понятий, законов, теорий при защите практической работы.

Оценка «4» ставится в следующем случае: - работа выполнена полностью или не менее чем на 80 % от объема задания, но в ней имеются недочеты и несущественные ошибки; - ответ на качественные и теоретические вопросы удовлетворяет вышеперечисленным требованиям, но содержит неточности в изложении фактов определений, понятий, объяснении взаимосвязей, выводах и решении задач.

Оценка «3» ставится в следующем случае: - работа выполнена в основном верно (объем выполненной части составляет не менее $\frac{2}{3}$ от общего объема), но допущены существенные неточности; - студент обнаруживает понимание учебного материала при недостаточной полноте усвоения понятий и закономерностей; - умеет применять полученные знания при решении простых задач с использованием готовых формул, но затрудняется при решении качественных задач и сложных количественных задач, требующих преобразования формул.

Оценка «2» ставится в следующем случае: - работа в основном не выполнена (объем выполненной части менее $\frac{2}{3}$ от общего объема задания); - студент показывает незнание основных понятий, непонимание изученных закономерностей и взаимосвязей, не умеет решать количественные и качественные задачи.

Оценка «1» ставится в следующем случае: работа полностью не выполнена.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ БД. 08 ФИЗИКА

Практическое занятие № 1

Кинематика поступательного и вращательного движения

Цель занятия - усвоить основные методы решения прямой и обратной задачи кинематики, используя законы кинематики поступательного и вращательного движения.

Указания к организации самостоятельной работы студентов.

Прежде чем решать задачи по кинематике, нужно усвоить основные понятия и определения физических величин, которые используются в этом разделе.

При решении задач можно придерживаться следующих правил:

Выбрать систему отсчета (тело отсчета, систему координат и начало отсчета времени). При выборе направлений координатных осей следует учитывать направление векторов перемещений, скоростей и ускорений. Изобразить траекторию движения частицы (материальной точки) в выбранной системе отсчета, показать на рисунке направления векторов перемещений, скоростей и ускорений. Записать закон движения и вытекающие из него уравнения в векторной форме (например, для материальной точки временные зависимости радиус-вектора $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ и скорости движения $\mathbf{v} = \mathbf{v}(t)$), а затем записать эти уравнения в проекциях на оси координат и получить систему уравнений в скалярной форме. В случае необходимости дополнить полученную систему уравнений соотношениями, вытекающими из условия задачи, решить эту систему уравнений и определить искомые величины. При графическом решении задачи использовать графики зависимости координат или скорости (перемещения или пути) от времени, определить на основании этих графиков неизвестные величины. Следует помнить, что графические зависимости кинематических величин могут оказаться очень полезными как при анализе условия задачи, так и при проверке результатов ее решения. Если в задаче по физике не указано, в каких единицах нужно дать ответ, его нужно дать в единицах системы СИ или в производных от них величинах, соответствующих той физической величине, о которой спрашивается в задаче. Например, если в задаче требуется найти скорость, и не сказано в чем ее нужно выразить, то ответ нужно дать в м/с. Для удобства в задачах по физике часто приходится использовать дольные (уменьшающие) и кратные (увеличивающие) приставки. Их можно применять к любой физической величине. Например, мм – миллиметр, кт – килотонна, нс – наносекунда, Мг – мегаграмм, ммоль – миллимоль, мкА – микроампер. Запомните, что в физике не существует двойных приставок. Например, мкг – это микрограмм, а не милликилограмм. Учтите, что при сложении и вычитании величин Вы можете оперировать только величинами одинаковой размерности. Например, килограммы можно складывать только с килограммами, из миллиметров можно вычитать только миллиметры, и так далее. При переводе величин пользуйтесь следующей таблицей.

Таблица дольных и кратных приставок в физике:

КРАТНЫЕ			ДОЛЬНЫЕ		
Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	милли	м	10^{-3}
гекто	г	10^2	санти	с	10^{-2}
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}

Кинематика. Основные формулы

Кинематикой называют раздел механики, в котором движение тел рассматривается без выяснения причин этого движения. Механическим движением тела называют изменение его положения в пространстве относительно других тел с течением времени. Всякое тело имеет определенные размеры. Однако, во многих задачах механики нет необходимости указывать положения отдельных частей тела. Если размеры тела малы по сравнению с расстояниями до других тел, то данное тело можно считать материальной точкой. Так при движении автомобиля на большие расстояния можно пренебречь его длиной, так как длина автомобиля мала по сравнению с расстояниями, которое он проходит. Интуитивно понятно, что характеристики движения (скорость, траектория и т.д.) зависят от того, откуда мы на него смотрим. Поэтому для описания движения вводится понятие системы отсчета.

Система отсчета (СО) – совокупность тела отсчета (оно считается абсолютно твердым), привязанной к нему системой координат, линейки (прибора, измеряющего расстояния), часов и синхронизатора времени. Перемещаясь с течением времени из одной точки в другую, тело (материальная точка) описывает в данной СО некоторую линию, которую называют траекторией движения тела.

Перемещением тела называют направленный отрезок прямой, соединяющий начальное положение тела с его конечным положением. Перемещение есть векторная величина. Перемещением может в процессе движение увеличиваться, уменьшаться и становиться равным нулю. Пройденный путь равен длине траектории, пройденной телом за некоторое время. Путь – скалярная величина. Путь не может уменьшаться. Путь только возрастает либо остается постоянным (если тело не движется). При движении тела по криволинейной траектории модуль (длина) вектора перемещения всегда меньше пройденного пути. При равномерном (с постоянной скоростью) движении путь L может быть найден по формуле: $L = vt$, где: v – скорость тела, t – время в течении которого оно двигалось.

При решении задач по кинематике перемещение обычно находится из геометрических соображений. Часто геометрические соображения для нахождения перемещения требуют знания теоремы Пифагора.

Средняя скорость .Скорость – векторная величина, характеризующая быстроту перемещения тела в пространстве. Скорость бывает средней и мгновенной. Мгновенная скорость описывает движение в данный конкретный момент времени в данной конкретной точке пространства, а средняя скорость характеризует все движение в целом, в общем, не описывая подробности движения на каждом конкретном участке.

Средняя скорость пути – это отношение всего пути ко всему времени движения:

$$v_{\text{ср. пути}} = \frac{L_{\text{полн}}}{t_{\text{полн}}} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}$$

где: $L_{\text{полн}}$ – весь путь, который прошло тело, $t_{\text{полн}}$ – все время движения.

Средняя скорость перемещения – это отношение всего перемещения ко всему времени движения:

$$|\vec{v}_{\text{ср. перемещения}}| = \frac{|\vec{S}_{\text{полн}}|}{t_{\text{полн}}}$$

Эта величина направлена так же, как и полное перемещение тела (то есть из начальной точки движения в конечную точку). При этом не забывайте, что полное перемещение не всегда равно алгебраической сумме перемещений на определённых этапах движения. Вектор полного перемещения равен векторной сумме перемещений на отдельных этапах движения.

При решении задач по кинематике не совершайте очень распространенную ошибку.

Средняя скорость, как правило, не равна среднему арифметическому скоростей тела на каждом этапе движения. Среднее арифметическое получается только в некоторых частных случаях. □ И уж тем более средняя скорость не равна одной из скоростей, с которыми двигалось тело в процессе движения, даже если эта скорость имела примерно промежуточное значение относительно других скоростей, с которыми двигалось тело.

Равноускоренное прямолинейное движение. Ускорение – векторная физическая величина, определяющая быстроту изменения скорости тела. Ускорением тела называют отношение изменения скорости к промежутку времени, в течение которого происходило изменение скорости:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t}$$

где: v_0 – начальная скорость тела, v – конечная скорость тела (то есть спустя промежуток времени t). Далее, если иное не указано в условии задачи, мы считаем, что если тело движется с ускорением, то это ускорение остается постоянным. Такое движение тела называется равноускоренным (или равнопеременным). При равноускоренном движении скорость тела изменяется на одинаковую величину за любые равные промежутки времени. Равноускоренное движение бывает собственно ускоренным, когда тело увеличивает скорость движения, и замедленным, когда скорость уменьшается. Для простоты решения задач удобно для замедленного движения брать ускорение со знаком «-». Из предыдущей формулы, следует другая более распространенная формула, описывающая изменение скорости со временем при равноускоренном движении: $v = v_0 + at$. Перемещение (но не путь) при равноускоренном движении рассчитывается по

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

$$S = v_{\text{cp}} t = \frac{v + v_0}{2} t$$

формулам:

В последней формуле использована одна особенность равноускоренного движения. При равноускоренном движении среднюю скорость можно рассчитывать, как среднее арифметическое начальной и конечной скоростей (этим свойством очень удобно пользоваться при решении некоторых задач): $v_{\text{cp}} = (v + v_0)/2$.

С расчетом пути все сложнее. Если тело не меняло направления движения, то при равноускоренном прямолинейном движении путь численно равен перемещению. А если меняло – надо отдельно считать путь до остановки (момента разворота) и путь после остановки (момента разворота). А просто подстановка времени в формулы для перемещения в этом случае приведет к типичной ошибке.

Координата при равноускоренном движении изменяется по закону:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Проекция скорости при равноускоренном движении изменяется по такому закону:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Аналогичные формулы получаются для остальных координатных осей. **Формула для тормозного пути тела:**

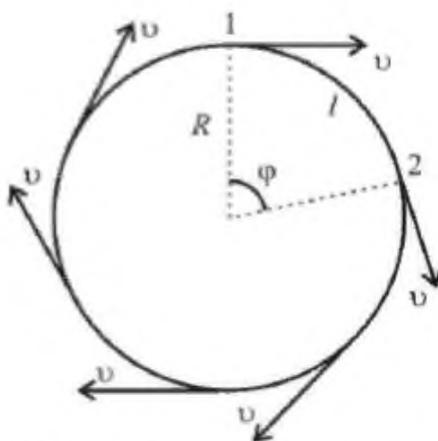
$$S_{\text{торм}} = \frac{v_0^2}{2a}$$

Сложение скоростей . Движение тел можно описывать в различных системах отсчета. С точки зрения кинематики все системы отсчета равноправны. Однако кинематические характеристики движения, такие как траектория, перемещение, скорость, в разных системах оказываются различными. Величины, зависящие от выбора системы

отсчета, в которой производится их измерение, называют относительными. Таким образом, покой и движение тела относительны. Классический закон сложения скоростей:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}'$$

Таким образом, абсолютная скорость тела равна векторной сумме его скорости относительно подвижной системы координат и скорости самой подвижной системы отсчета. Или, другими словами, скорость тела в неподвижной системе отсчета равна векторной сумме скорости тела в подвижной системе отсчета и скорости подвижной системы отсчета относительно неподвижной. Равномерное движение по окружности. Движение тела по окружности является частным случаем криволинейного движения. Такой вид движения также рассматривается в кинематике. При криволинейном движении вектор скорости тела всегда направлен по касательной к траектории. То же самое происходит и при движении по окружности (см. рисунок). Равномерное движение тела по окружности характеризуется рядом величин.



Период – время, за которое тело, двигаясь по окружности, совершает один полный оборот. Единица измерения – 1 с. Период рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{l}{v}$$

Частота – количество оборотов, которое совершило тело, двигаясь по окружности, в единицу времени. Единица измерения – 1 об/с или 1 Гц. Частота рассчитывается по формуле:

$$\nu = \frac{N}{t}$$

Контрольные вопросы и задания.

1. Кинематический закон движения для координатного способа определения движения материальной точки.
2. Кинематический закон движения для естественного движения для векторного способа определения движения.
3. Кинематический закон движения для естественного способа определения движения.
4. Как найти вектор скорости для конкретного, векторного и естественного способов определения движения?
5. Как найти вектор ускорения для разных способов определения движения?
6. Какую формулу можно использовать для нахождения пути, если точка прошла при криволинейном движении?
7. Докажите формулу, связывающую векторы линейной и угловой скорости.

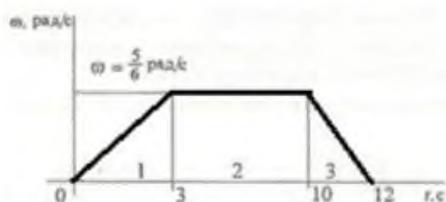
8. Почему равны векторы тангенциального и нормального ускорения в случае криволинейного движения материальной точки? Как найти модули этих векторов?

9. Чему равны векторы тангенциального и нормального ускорения и их модули для вращательного движения материальной точки?

10. Как связан вектор полного ускорения с векторами углового ускорения и угловой скорости для вращательного движения? Запишите формулу связи и проанализируйте ее.

Примеры решения задач.

Задача 1. По заданному графику угловой скорости определить вид движения.



Определить полное число оборотов шкива за время движения. Построить графики угловых перемещений и угловых ускорений шкива.

Решение:

1. Из графика определяем вид движения:

Участок 1 – скорость возрастает равномерно, движение равноускоренное;

Участок 2 – скорость постоянна - движение равномерное;

Участок 3 – скорость убывает равномерно – движение равноускоренное.

2. Определяем угловое ускорение: $\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t}$

Участок 1 - $\omega_0 = 0$ рад/с; $\omega_1 = \frac{5}{6}$ рад/с; $\alpha_1 = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1} = \frac{\frac{5}{6}}{3} = 0,278$ рад/с²

Участок 2 - рад/с; $\omega_2 = \frac{5}{6}$ рад/с; $\alpha_2 = 0$ рад/с²;

Участок 3 - рад/с; $\omega_3 = 0$ рад/с. $\alpha_3 = \frac{\omega_3 - \omega_2}{t_3} = \frac{0 - \frac{5}{6}}{2} = -0,417$ рад/с².

3. Определяем угол поворота : $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$; ; $\varphi_0 = 0$.

Участок 1 - $\varphi_1 = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\alpha_1 t^2}{2} = \frac{0,278 \cdot 3^2}{2} = 1,25$ рад;

Участок 2 - $\varphi_2 = \varphi_0 + \omega_1 t + \frac{\alpha_2 t^2}{2} = \frac{5}{6} \cdot 7 = 5,83$ рад;

Участок 3 - $\varphi_3 = \varphi_0 + \omega_2 t + \frac{\alpha_3 t^2}{2} = \frac{5}{6} \cdot 2 + \frac{(-0,417) \cdot 2^2}{2} = 0,836$ рад.

$$\varphi = 1,25 + 5,83 + 0,836 = 7,912 \text{ рад.}$$

4. Определяем полное число оборотов шкива за время движения:

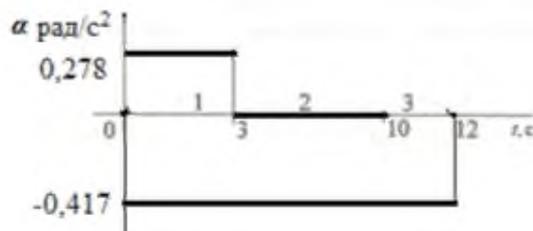
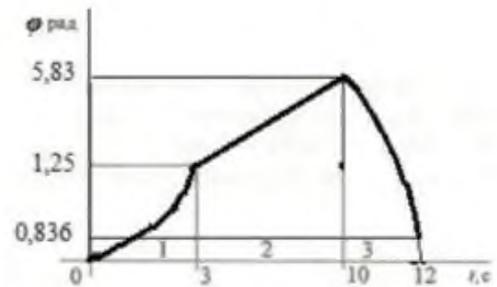
$$N = \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{7,912}{2 \cdot 3,14} = 1,26 \text{ об.}$$

5. Строим графики угловых перемещений:

Участок 1 - $\varphi_1 = 1,25$ рад;

Участок 2 - $\varphi_2 = 5,83$ рад;

Участок 3 - $\varphi_3 = 0,836$ рад.



Участок 3 - $\alpha_3 = -0,417$ рад/с²

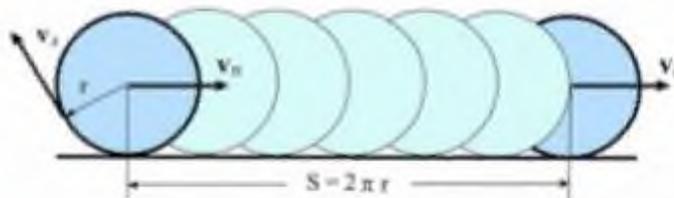
6. Строим графики угловых ускорений.

Участок 1 - $\alpha_1 = 0,278$ рад/с²

Участок 2 - рад/с²;

Задача 2. Сплошной диск катится без скольжения по горизонтальной плоскости с постоянной скоростью поступательного движения v_n . Доказать, что величина линейной скорости v_d вращения любой точки обода диска относительно центра O равна величине скорости его поступательного движения

Решение.



За время T полного оборота диск как целое пройдет путь

$$S = v_n T.$$

В то же время, этот путь равен длине окружности диска, то есть

$$S = 2\pi r, \text{ где}$$

r – радиус диска (см. рисунок).

Тогда $v_n T = 2\pi r$, откуда

$$v_n = \frac{2\pi r}{T}.$$

С другой стороны, линейная скорость вращения относительно центра O всех точек диска, лежащих на его обода, равна

$$v_d = \omega r, \text{ где}$$

ω – угловая скорость вращения.

Но $\omega = \frac{2\pi}{T}$, следовательно,

$$v_d = \frac{2\pi r}{T}.$$

Таким образом, $v_d = v_n$.

Задача 3. Найти величину угловой скорости ω и величину линейной скорости v искусственного спутника Земли, если известно, что он вращается по круговой орбите с периодом обращения $T = 88$ мин, и его орбита расположена на расстоянии $h = 200$ км от поверхности Земли.

Дано: $T = 88$ мин = 5280 с, $h = 200$ км = $2 \cdot 10^5$ м.

$\omega - ?$ $v - ?$

Решение.

Величину угловой скорости найдем по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Подставив числовые значения, получим

$$\omega = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$$

Величину линейной скорости найдем по формуле:

$$v = \omega R, \text{ где}$$

R – расстояние от центра Земли до траектории спутника, то есть радиус его орбиты.

В свою очередь, $R = R_3 + h$. Здесь R_3 – это радиус Земли (он равен приблизительно $6,38 \cdot 10^6$ м). Тогда

$$v = \omega(R_3 + h).$$

Подставив числа, получим: $v = 7,8 \cdot 10^3$ м/с.

Ответ: $v = 7,8 \cdot 10^3$ м/с, $\omega = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Задача 4. Величина линейной скорости точек окружности вращающегося диска равна $v_1 = 3$ м/с, а точек, находящихся на расстоянии $r = 10$ см ближе к оси вращения, $v_2 = 2$ м/с. Какова частота n вращения диска?

Дано: $v_1 = 3$ м/с, $v_2 = 2$ м/с, $r = 10$ см = 10^{-1} м.

$n = ?$

Решение.

Поскольку угловые скорости ω всех точек диска одинаковы, то величины линейных скоростей указанных в условии точек будут определяться выражениями:

$$v_1 = \omega R, \quad (1)$$

$$v_2 = \omega (R - r). \quad (2)$$

Поделим первое уравнение на второе:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{R}{R - r}$$

После простых преобразований найдем R :

$$R = \frac{v_1 r}{v_1 - v_2}$$

Подставив последнее выражение в (1), найдем угловую скорость:

$$\omega = \frac{v_1 - v_2}{r}$$

Но $\omega = 2\pi n$. Тогда

$$2\pi n = \frac{v_1 - v_2}{r}, \text{ откуда}$$

$$n = \frac{v_1 - v_2}{2\pi r}$$

Подставив числа, получим:

$$n = 1,6 \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: $n = 1,6 \text{ с}^{-1}$.

Задача 5. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорение точки окружности диска для момента времени 10 с от начала движения, если радиус окружности 0.2 м, а угол между осью OX и радиус-вектором точки изменяется по закону: $j = 3 - t + 0.2t^3$.

Дано:	Решение:
$j = 3 - t + 0.2t^3$	По формулам находим угловую скорость и угловое ускорение точки: $\omega = -1 + 0.2 \cdot 3t^2$, $\varepsilon = 0.6 \cdot 2t$. Из формулы связи углового и линейного тангенциального ускорения найдем: $a_\tau = R \cdot \varepsilon = R \cdot (0.6 \cdot 2t) = 1.2Rt = 1.2 \cdot 0.2 \cdot 10 = 24 \text{ м/с}^2$.
$t = 10 \text{ с}$	
$R = 0.2 \text{ м}$	

Найти:	
$a_r=?$	Нормальное ускорение найдем из формулы , где скорость $v=R \cdot \omega=R \cdot (-1+0.2 \cdot 3t^2)=R(0.6t^2-1)=$
$a_n=?$	
$a=?$	$=0.2(0.6 \cdot 10^2-1)=11.8 \text{ м/с};$
	Теперь находим полное
	ускорение:

Ответ: $a_r=24 \text{ м/с}^2;$

$a_n=696 \text{ м/с}^2;$

$a=697 \text{ м/с}^2.$

Задача 6. Тело движется прямолинейно так, что пройденный ею путь изменяется во времени по закону $S=Bt+Ct^2+Dt^3$, м, где t – время; B, C, D – константы численно равные: $B=0.25 \text{ м/с}, C=0.6 \text{ м/с}^2, D=0.01 \text{ м/с}^3$. Определить, к какому моменту времени (t_1), после начала движения ускорение тела достигнет значения 6 м/с^2 и каково значение скорости (v_1) в этот момент времени.

Дано:

$$B=0.25 \text{ м/с}$$

$$C=0.6 \text{ м/с}^2$$

$$D=0.01 \text{ м/с}^3$$

$$a(t_1)=a_1=6 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$t=? \quad v(t_1)=v_1=?$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача1. Снаряд, вылетевший из орудия со скоростью v_0 , разрывается на два одинаковых осколка в верхней точке траектории на расстоянии l (по горизонтали). Один из осколков полетел в обратном направлении со скоростью движения снаряда до разрыва. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, на каком расстоянии (по горизонтали) от орудия упадет второй осколок. Ответ: $s = 4l$.

Задача2..Найти первую космическую скорость v_1 , т.е. скорость, которую надо сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно начало двигаться вокруг Земли по круговой орбите в качестве спутника. Ответ: $7,9 \text{ км/с}$.

Задача3.С вершины идеально гладкой сферы радиусом $R = 1,2 \text{ м}$ соскальзывает небольшое тело. Определить высоту h (от вершины сферы), с которой тело со сферы сорвется. Ответ: 40 см .

Задача4..Пуля массой $m= 15 \text{ г}$, летящая горизонтально со скоростью $v = 200 \text{ м/с}$, попадает в баллистический маятник длиной $l=1 \text{ м}$ и массой $M=1,5 \text{ кг}$ и застревает в нем. Определить угол отклонения ϕ маятника. Ответ: $36,9^\circ$.

Задача5..Карандаш длиной $l=15 \text{ см}$, поставленный вертикально, падает на стол.

Какую угловую скорость ω и линейную скорость v будут иметь в конце падения середина и верхний конец карандаша? Ответ: $\omega_c = \omega_k = 14$ рад/с; $v_c = 1,05$ м/с, $v_k = 2,1$ м/с.

Задача 6..Однородный стержень длиной $l = 0,5$ м совершает малые колебания в вертикальной плоскости около горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. Найти период колебаний T стержня. Ответ: 1,16 с.

Задача 7..Обруч диаметром $D = 56,5$ см висит на гвозде, вбитом в стену, и совершает малые колебания в плоскости, параллельной стене. Найти период колебаний T обруча. Ответ: 1,5 с.

Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1. – М.: Наука, 2021
2. Мякишев Г.А. , Физика 10 кл, М: Просвещение, 2021 г

Практическое занятие № 2

Динамика поступательного и вращательного движения

Цель занятия - усвоить методы классической механики и научиться решать задачи динамики материальной точки, динамики поступательного движения, определять энергетические характеристики и величины.

Основные теоретические положения и формулы

При решении задач по теме используются второй закон Ньютона, который имеет вид:

$\vec{F} = m\vec{a}$, где $F = \sum \vec{F}_i$ - равнодействующая всех сил, приложенных к данному телу.

В неинерциальной системе отсчета, которая движется поступательно, с ускорением \vec{a}_0 относительно инерциальной системы, второй закон Ньютона имеет вид.

$\vec{F} + \vec{F}_{in} = m\vec{a}$, где $\vec{F}_{in} = m\vec{a}_0$ - сила инерции, a - ускорение тела в неинерциальной системе отсчета.

Энергия – универсальная мера различных форм движения материальных объектов и их взаимодействия. Количественной характеристикой процесса обмена энергией между взаимодействующими телами является физическая скалярная величина – работа сил.

Элементарная работа силы $dA = \vec{F} d\vec{r} = F \cos \alpha \cdot ds = F_{\parallel} ds$.

Работа силы на произвольном участке траектории 1-2 $A = \int_1^2 F \cos \alpha \cdot ds = \int_1^2 F_{\parallel} ds$.

Мощность – физическая скалярная величина, характеризующая скорость

совершения работы: $P = \frac{dA}{dt}$.

Мощность, развиваемая силой \vec{F} в данный момент времени, равна скалярному произведению вектора силы на вектор скорости, с которой

движется точка приложения этой силы: $P = \frac{\vec{F} d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \vec{v}$.

Консервативная сила – сила, работа которой при перемещении из одного положения в другое не зависит от траектории перемещения, а зависит только от начального и конечного положений тела. Силовое поле, в котором

консервативные силы совершают работу, называется **потенциальным полем**.

Кинетическая энергия - механическая энергия всякого свободно движущегося тела, численно равная работе, которую совершают действующие на тело силы при его торможении до полной

остановки: $E_k = A = \frac{mv^2}{2}$,

Потенциальная энергия – это механическая энергия системы тел, определяемая их взаимным расположением и характером сил взаимодействия между ними.

Связь между консервативной силой \vec{F} и потенциальной энергией устанавливается выражением $\vec{F} = -\text{grad}E_p$, где $\text{grad}E_p = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x}, \frac{\partial E_p}{\partial y}, \frac{\partial E_p}{\partial z} \right)$.

Отсюда, как частные случаи, определяются: а) потенциальная энергия тела массой m на высоте h $E_p = mgh$;

б) потенциальная энергия упругодеформированного тела $E_p = \frac{kx^2}{2}$,

где k – коэффициент упругости (для пружины – жесткость).

Полная энергия механической системы – равна сумме кинетической и потенциальной энергий: $W = E_k + E_p$.

Механические системы, на тела которых действуют только консервативные силы (внутренние и внешние) называются **консервативными системами**. В таких системах выполняется **закон сохранения механической энергии**: $E_k + E_p = W = \text{const}$,

т.е. **полная механическая энергия консервативной системы со временем не изменяется**. Это фундаментальный закон природы, который является следствием **однородности времени**.

Закон всемирного тяготения

$$\begin{aligned} F &= Gm_1m_2/R^2 \\ G &= 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Нм}^2/\text{кг}^2 \\ g &= GM/R^2 \\ g_h &= GM/(R+h)^2 \end{aligned}$$

1 космическая скорость

Указания к организации самостоятельной работы студентов.

Для достижения цели занятия необходимо изучить теорию данного раздела механики, изложенную в учебниках или в конспекте. Основу динамики материальной точки составляют три закона Ньютона, которые справедливы только при выполнении следующих условий: движение тела рассматривается по отношению к инерционной системе отсчета, тело должно быть материальной точкой постоянной массы, скорость тела

должна быть значительно меньше скорости света в вакууме.

Для решения задач с использованием *второго закона Ньютона* предложен метод, который включает следующие действия:

1. Найти, или используется ли этот закон в данной задачи, и наметить рисунок-схему взаимодействующих тел.
2. Найти и обозначить на схеме все силы, действующие на тела системы.
Для каждого тела:
3. Записать главное уравнение динамики в векторной форме.
4. Выбрать подходящую инерциальную систему отсчета.
5. Спроектировать силы на оси координат и записать второй закон Ньютона в виде системы скалярных уравнений:

$$\sum F_x = ma_x, \sum F_y = ma_y, \sum F_z = ma_z,$$

где a_x, a_y, a_z , - проекции вектора ускорения на соответствующие оси.

6. Решить систему полученных уравнений по отношению к неизвестным.
Определить ускорения тел в задачах данного типа которые называют главной задачей динамики поступательного движения.

Контрольные вопросы и задания

1. Изложить понятие инертности
2. Дать определение массы.
3. Дать определение силы
4. Изложить первый закон Ньютона.
5. Изложить второй закон Ньютона
6. Изложить третий закон Ньютона.
7. Дать определение силы тяжести
8. Дать определение веса тела.
9. Записать силу трения
10. Записать закон Гука.
11. Что такое энергия, работа, мощность?
12. Как определяется работа переменной силы?
13. Какие силы называются консервативными? Приведите примеры консервативных сил.
14. Какие силы называются диссипативными? Приведите примеры таких сил.
15. Дайте определения кинетической и потенциальной энергии.
16. В чем заключается закон сохранения механической энергии? Для каких систем он выполняется?
17. Каким свойством времени обусловлена справедливость закона сохранения механической энергии?
18. В чем физическая сущность закона сохранения и превращения энергии? Почему он является фундаментальным законом природы?
19. Как на основе закона сохранения механической энергии охарактеризовать положения устойчивого и неустойчивого равновесия консервативной системы?
20. Что такое потенциальная яма? потенциальный барьер?

Примеры решения задач

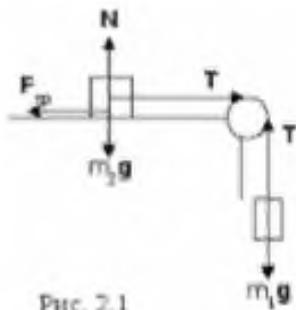


Рис. 2.1

Задача 1. Грузы одинаковой массы ($m_1=m_2=0,5$ кг) соединены нитью и перекинута через невесомый блок, укрепленный на конце стола (рис. 2.1). Коэффициент трения груза m_2 о стол $\mu=0,15$. Пренебрегая трением в блоке, определить: а) ускорение, с которым движутся грузы; б) силу натяжения нити.

Дано: $m_1=m_2=0,5$ кг; $\mu=0,15$.

Найти: a, T .

Решение

По второму закону Ньютона уравнения

движения грузов имеют вид:

$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T, \\ m_2 a = T - \mu m_2 g; \end{cases}$$

$m_1 a + m_2 a = m_1 g - \mu m_2 g$, откуда

$$a = \frac{(m_1 - \mu m_2)g}{m_1 + m_2} = \frac{(0,5 - 0,15 \cdot 0,5)9,8}{0,5 + 0,5} = 4,17 \text{ м/с}^2;$$

$$T = m_1(g - a) = 0,5(9,8 - 4,17) = 2,82 \text{ Н.}$$

Ответ: $a=4,17$ м/с², $T=2,82$ Н.

Задача 2. Снаряд массой 5 кг, вылетевший из орудия, в верхней точке траектории имеет скорость 300 м/с. В этой точке он разорвался на два осколка, причем больший осколок массой 3 кг полетел в обратном направлении со скоростью 100 м/с. Определить скорость второго, меньшего, осколка.

Дано: $m=5$ кг; $v=300$ м/с; $m_1=3$ кг; $v_1=100$ м/с.

Найти: v_2 .

Решение

По закону сохранения импульса $m\bar{v} = m_1\bar{v}_1 + m_2\bar{v}_2$;

$$mv = -m_1v_1 + m_2v_2, \text{ где } m_2 = m - m_1; \quad v_2 = \frac{mv + m_1v_1}{m_2} = \frac{5 \cdot 300 + 3 \cdot 100}{2} = 900 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v_2=900$ м/с.

Задача 3. С башни высотой 20 м горизонтально со скоростью 10 м/с брошен камень массой 400 г (рис. 2.2). Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить кинетическую и потенциальную энергию камня через 1 с после начала движения.

Дано: $H = 20$ м; $v_0 = 10$ м/с; $m = 0,4$ кг; $t = 1$ с.

Найти: E_k , E_p .

Решение

В точке А $E_k = \frac{mv^2}{2}$, $E_p = mgh$, где $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$,

$$h = H - h_1, \quad h_1 = \frac{gt^2}{2}; \quad E_k = \frac{m}{2}(v_0^2 + g^2t^2), \quad E_p = mg(H - \frac{gt^2}{2}).$$

Подставляя числовые данные, получим $E_k = 39,2$ Дж, $E_p = 59,2$ Дж.

✳ **Ответ:** $E_k = 39,2$ Дж, $E_p = 59,2$ Дж.

Задача 4. Автомобиль массой 1,8 т движется в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути (рис. 2.3). Определить: а) работу, совершаемую двигателем автомобиля на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1;

б) развиваемую двигателем мощность, если известно, что этот путь был преодолен за 5 мин.

Дано: $m = 1800$ кг; $\sin\alpha = 0,03$; $s = 5000$ м; $\mu = 0,1$;

$t = 300$ с.

Найти: A, P .

Решение

$$A = F_1 s + F_{\text{тр}} s, \text{ где } F_1 = mg \sin \alpha, \quad F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha; \quad A = mgs(\sin \alpha + \mu \cos \alpha);$$

$$A = mgs(\sin \alpha + \mu \cos \alpha); \quad P = \frac{A}{t}.$$

Подставляя числовые данные, получим: $A = 11,5 \cdot 10^6$ Дж, $P = 38,3 \cdot 10^3$ Вт.

Ответ: $A = 11,5$ МДж, $P = 38,3$ кВт.

Задача 5. Автомобиль массой 1,8 т движется в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути (рис. 2.3). Определить: а) работу, совершаемую двигателем автомобиля на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1;

б) развиваемую двигателем мощность, если известно, что этот путь был преодолен за 5 мин.

Дано: $m = 1800$ кг; $\sin\alpha = 0,03$; $s = 5000$ м; $\mu = 0,1$;

$t = 300$ с.

Найти: A, P .

Решение

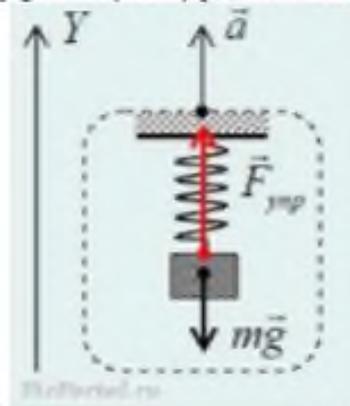
$$A = F_1 s + F_{\text{тр}} s, \text{ где } F_1 = mg \sin \alpha, \quad F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha; \quad A = mgs(\sin \alpha + \mu \cos \alpha);$$

$$A = mgs(\sin \alpha + \mu \cos \alpha); \quad P = \frac{A}{t}.$$

Подставляя числовые данные, получим: $A = 11,5 \cdot 10^6$ Дж, $P = 38,3 \cdot 10^3$ Вт.

Ответ: $A = 11,5$ МДж, $P = 38,3$ кВт.

Задача 6. В лифте, поднимающемся с ускорением $1,4 \text{ м/с}^2$, на пружине жесткостью 700 Н/м висит груз массой $0,5 \text{ кг}$. Чему равно (в мм) удлинение



пружины? Ускорение свободного падения $9,8 \text{ м/с}^2$.

Запишем уравнение второго закона Ньютона для груза в проекции на ось Y:

$$ma = F_{\text{упр}} - mg.$$

Из закона Гука модуль силы упругости равен

$$F_{\text{упр}} = k\Delta x,$$

тогда

$$ma = k\Delta x - mg \text{ и } \Delta x = m(a + g)/k.$$

Подставим численные значения

$$\Delta x = 0,5 \cdot (1,4 + 10) / 700 = 8,14 \text{ мм}.$$

Ответ: $\Delta x = 8,14 \text{ мм}$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Тело массой $m = 2 \text{ кг}$ движется прямолинейно по закону $y = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$ ($C = 2 \text{ м/с}^2$, $D = 0,4 \text{ м/с}^3$). Определить силу, действующую на тело в конце первой секунды движения. Ответ: $3,2 \text{ Н}$.

Задача 2. К нити подвешен груз массой $m = 500 \text{ г}$. Определить силу натяжения нити, если нить с грузом: 1) поднимать с ускорением 2 м/с^2 ; 2) опускать с ускорением 2 м/с^2 . Ответ: 1) $5,9 \text{ Н}$. 2) $3,9 \text{ Н}$.

Задача 3. Два груза ($m_1 = 500 \text{ г}$ и $m_2 = 700 \text{ г}$) связаны невесомой нитью и лежат на гладкой горизонтальной поверхности. К грузу m_1 приложена горизонтально направленная сила $F = 6 \text{ Н}$. Пренебрегая трением, определить: 1) ускорение грузов; 2) силу натяжения нити. Ответ: 1) 5 м/с^2 ; 2) $3,5 \text{ Н}$.

Задача 4. Тело массой m движется в плоскости xy по закону $x = A \cos \omega t$, $y = B \sin \omega t$, где A , B и ω — некоторые постоянные. Определить модуль силы, действующей на это тело. Ответ:

Задача 5. Тело массой $m = 2 \text{ кг}$ падает вертикально с ускорением $a = 5 \text{ м/с}^2$. Определить силу сопротивления при движении этого тела. Ответ: $9,62 \text{ Н}$.

Задача 6. С вершины клина, длина которого $l = 2 \text{ м}$ и высота $h = 1 \text{ м}$, начинает скользить небольшое тело. Коэффициент трения между телом и клином $f = 0,15$. Определить: 1) ускорение, с которым движется тело; 2) время прохождения тела вдоль клина; 3) скорость тела у основания клина. Ответ: 1) $3,63 \text{ м/с}^2$; 2) $1,05 \text{ с}$; 3) $3,81 \text{ м/с}$.

Практическое занятие № 3 Закон сохранения импульса. Закон сохранения энергии.

Цели: - проанализировать границы применимости законов сохранения на конкретных примерах *Основные теоретические положения*

Соударение (удар) – это столкновение двух или более тел, при котором взаимодействие длится очень короткое время. Ударные силы столь велики, что внешними силами можно пренебречь; это позволяет систему тел в процессе соударения рассматривать как замкнутую и применять к ней законы сохранения. Удар называется центральным, если тела до удара движутся вдоль прямой, соединяющей их центры. Абсолютно упругий удар – столкновение двух тел, в результате которого в обоих взаимодействующих телах не остается никаких деформаций (механическая энергия не переходит в другие, немеханические виды) и вся кинетическая энергия, которой тела обладали до удара, после удара снова превращается в кинетическую энергию. В этом случае выполняются закон сохранения импульса и закон сохранения кинетической энергии.

Рассмотрим центральный абсолютно упругий удар двух шаров. Обозначим скорости шаров массами m_1 и m_2 до удара v_1 и v_2 , после удара – v'_1 и v'_2 (рис.3.3).

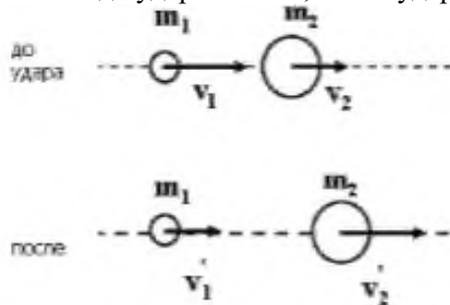


Рис.3.3. Абсолютно упругий удар двух тел

Законы сохранения импульса и энергии при этом имеют вид:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

Решая эти уравнения, находим:

$$v'_1 = [v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2] / (m_1 + m_2)$$

$$v'_2 = [v_2(m_1 - m_2) + 2m_1 v_1] / (m_1 + m_2)$$

Частные случаи:

1) если $m_1 = m_2$, то $v'_1 = v_2$ и $v'_2 = v_1$ (шары обмениваются скоростями). Например, при столкновении первого шара с неподвижным вторым ($v_2 = 0$) первый шар останавливается ($v'_1 = 0$), а второй движется со скоростью первого ($v'_2 = v_1$) (рис.3.4).

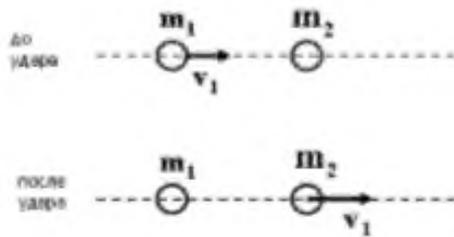


Рис.3.4. Абсолютно упругий удар тел с равными массами

2) если $m_2 \gg m_1$ (столкновение шара со стенкой), $v'_1 = 2v_2 - v_1$, $v'_2 = v_2$ (скорость стенки не изменится). При столкновении шара с неподвижной стенкой ($v_2 = 0$) получим $v'_1 = -v_1$, то есть шар отскакивает с первоначальной скоростью, меняя направление на противоположное.

Абсолютно неупругий удар – столкновение двух тел, в результате которого тела движутся вместе либо покоятся. Кинетическая энергия тел полностью или частично переходит в их внутреннюю энергию. В этом случае выполняется закон сохранения импульса. Закон сохранения механической энергии не выполняется, выполняется закон сохранения суммарной энергии – механической и внутренней.

Рассмотрим центральный абсолютно неупругий удар двух шаров массами m_1 и m_2 , имеющих до удара скорости v_1 и v_2 . После удара они будут двигаться с общей скоростью v (рис.3.5), которую найдем из закона сохранения импульса:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$$

$$v = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2)$$

В большинстве интересных случаев при решении задач приходится использовать как закон сохранения импульса, так и закон сохранения механической энергии. Если для решения задачи достаточно одного закона сохранения, следует обсудить выполняется ли второй закон сохранения, а если не выполняется, то по какой причине.

Контрольные вопросы:

1. Что называется количеством движения (импульсом) материальной точки?
2. Как определяется импульс физического тела, системы тел?
3. Сформулируйте закон сохранения импульса системы тел и условия его применения.
4. Сформулируйте закон сохранения энергии в механике и условия его применения.
5. Назовите виды механической энергии.
6. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
7. Дайте определение работы и ее единицы измерения.
8. Дайте определение мощности и ее единицы измерения.
9. Что называется импульсом силы и импульсом тела?
10. Сформулируйте закон сохранения импульса.
11. Какие системы называют замкнутыми?
12. Сформулируйте закон сохранения механической энергии. В каких системах он выполняется?

Для решения задачи рекомендуется выполнить следующие действия:

- Выбрать тела, которые Вы включите в систему, для которой будете использовать законы сохранения.
- Выбрать систему отсчета, в которой будете решать задачу. Убедиться, что она является инерциальной. Удачный выбор системы отсчета, как и при решении задач кинематики и динамики, может существенно облегчить составление системы уравнений в случае использования законов сохранения. Не забывайте, что при переходе из одной

инерциальной системы отсчета в другую перемещения и скорости тел меняются, а поэтому работа и кинетическая энергия будут зависеть от выбора системы отсчета. Потенциальная же энергия зависит от относительных координат взаимодействующих тел, следовательно, она одинакова во всех инерциальных системах отсчета.

- Выбрать начальное и конечное состояния системы, которые Вы свяжете законами сохранения. Следует иметь в виду, что эти состояния совсем необязательно должны совпадать с начальным и конечным состояниями, указанными в условии задачи. - Обосновать возможность использования законов сохранения для выбранных состояний системы.

- Выбрать начало отсчета потенциальной энергии. Целесообразно за нуль отсчета потенциальной энергии выбрать положение, в котором она минимальна в рассматриваемой задаче. Помните, что если тело нельзя считать материальной точкой, то его потенциальная энергия в поле силы тяжести определяется положением центра масс этого тела.

- Записать значения импульса тела или его механической энергии в начальном и конечном положениях и приравняйте их.

- Если законов сохранения окажется недостаточно для решения задачи, использовать уравнения динамики и кинематические соотношения.

- Обратить внимание на то, что если физическая система не является замкнутой и внутри нее не действуют непотенциальные силы, то изменение ее механической энергии равно работе внешних сил. Если система является замкнутой, но внутри системы действуют непотенциальные силы, полная механическая энергия не сохраняется. Изменение механической энергии в этом случае равно работе непотенциальных сил.

Примеры решения задач.

Задача 1. Цепочка длиной l лежит на гладком горизонтальном столе, свешиваясь ровно наполовину. Цепочку без толчка отпускают. Найдите скорость цепочки в момент, когда ее верхний конец соскользнет со стола.

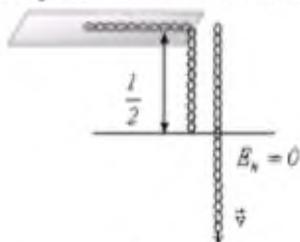


Рис 1

Решение:

Поскольку при движении цепочки сила трения отсутствует, то полная механическая энергия системы будет сохраняться. В качестве начального состояния выбираем цепочку в начальный момент времени, конечного – в момент, когда ее верхний конец соскользнет со стола. Будем считать потенциальную энергию цепочки в конечном состоянии равной нулю (рис. 1). Величина потенциальной энергии определяется положением центра массы тела. Поэтому в начальном состоянии полная механическая энергия системы

$$E_1 = \frac{m}{2} g \frac{l}{2} + \frac{m}{2} g \frac{l}{4} = \frac{3}{8} mgl$$

В конечном состоянии полная механическая энергия $E_2 = \frac{mv^2}{2}$, так

как $E_1 = E_2$, то $v = \sqrt{\frac{3gl}{4}}$.

Ответ: $v = \sqrt{\frac{3gl}{4}}$.

Задача 2. Человек массы m переходит с одного конца лодки массой M на другой. Длина лодки равна l . Найдите перемещение лодки. Сопротивлением воды движению лодки пренебречь. Решение: Поскольку система «лодка–человек» является замкнутой, то для решения задачи можно использовать закон сохранения импульса. В качестве тела отсчета выберем Землю. В начальный момент времени импульс системы «лодка–человек» равен нулю, следовательно, он будет таковым и во все последующие моменты времени:

$$m\vec{v}_x + M\vec{v}_y = 0 \quad (1)$$

где \vec{v}_x – скорость человека относительно берега, а \vec{v}_y – скорость лодки.

Согласно закону сложения скоростей $\vec{v}_x = \vec{v}'_x + \vec{v}_y$, где \vec{v}'_x – скорость движения человека относительно лодки. Подставим \vec{v}_x в (1):

$$m(\vec{v}'_x + \vec{v}_y) + M\vec{v}_y = 0.$$

Из последнего выражения

$$\vec{v}_y = -\frac{m}{M+m}\vec{v}'_x.$$

Обозначим время движения человека через t , тогда перемещение лодки относительно берега будет равно

$$L = \vec{v}_y \cdot t = -\frac{m}{M+m}\vec{v}'_x \cdot t = -\frac{m}{M+m}l$$

где l – перемещение человека вдоль лодки.

Ответ: $L = \vec{v}_y \cdot t = -\frac{m}{M+m}\vec{v}'_x \cdot t = -\frac{m}{M+m}l$

Задача 3. Две частицы массой m скреплены пружиной жесткости k . На них налетает третья частица массы m , которая движется вдоль оси пружины со скоростью v . Найдите максимальное сжатие пружины. Внешними силами пренебречь.

Решение:

Разобьем процесс взаимодействия частиц и пружины на две стадии (рис. 2)

1. За состояние I примем исходное состояние системы: частица 1 движется со скоростью v , остальные тела покоятся. В конечном состоянии II частица 1 налетела на частицу 2, но поскольку время соударения очень маленькое, то пружина еще не сжалась, шар 3 неподвижен. К этим состояниям можно применить законы сохранения импульса и механической энергии:

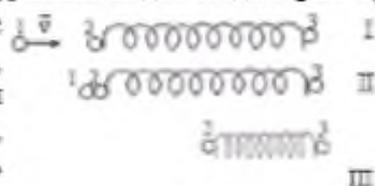


Рис. 2

$$mv = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2,$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{m\vec{v}_1^2}{2} + \frac{m\vec{v}_2^2}{2},$$

где \vec{v}_1 и \vec{v}_2 – скорости движения первой и второй частицы после соударения. Возведем первое уравнение в квадрат, тогда получим систему двух уравнений

$$\begin{cases} v^2 = v_1^2 + 2\bar{v}_1\bar{v}_2 + v_2^2 \\ v^2 = v_1^2 + v_2^2 \end{cases}$$

Чтобы эти уравнения были совместны, необходимо, чтобы $\bar{v}_1\bar{v}_2 = 0$. Отсюда следует, что $v_1 = 0$. Последнее означает, что после столкновения частица 1 остановится, а частица 2 придет в движение со скоростью \bar{v} .

2. На второй стадии в начальном состоянии движется со скоростью \bar{v} вторая частица. Конечное состояние III соответствует максимальному сжатию пружины, в котором пружина и частицы 2 и 3 движутся как одно целое со скоростью \bar{u} . Применим к ним законы сохранения импульса и механической энергии.

$$\begin{aligned} m\bar{v} &= 2m\bar{u} \\ \frac{m\bar{v}^2}{2} &= \frac{2m\bar{u}^2}{2} + \frac{kx^2}{2} \end{aligned}$$

где x – максимальное сжатие пружины. Решая эту систему уравнений, получим

$$x = \sqrt{\frac{m\bar{v}^2}{2k}}$$

Ответ: $x = \sqrt{\frac{m\bar{v}^2}{2k}}$

Задача 4. Пуля, летящая горизонтально со скоростью $v = 400$ м/с, попадает в подвешенный на невесомой нити брусок и застревает в нем. Какова длина нити, если брусок отклонился на угол $\alpha = 60^\circ$? Масса пули $m = 20$ г, масса бруска $M = 5$ кг.

Решение:

Если за начальное состояние системы «шар–пуля» выбрать летящую пулю, а за конечное – отклонившийся брусок с застрявшей в нем пулей, то нельзя воспользоваться ни законом сохранения импульса (так как система «шар–пуля» не является замкнутой), ни законом сохранения механической энергии (так как соударение пули с шаром неупругое).

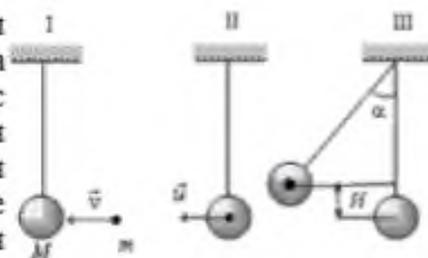


Рис. 3

Чтобы воспользоваться законами сохранения, следует рассмотреть промежуточное состояние II (рис. 3): пуля вошла в шар и застряла в нем, но поскольку время соударения очень мало, то сам шар практически не сдвинулся с места, хотя и приобрел скорость \bar{u} . Для состояний I, II можно воспользоваться законом сохранения импульса, так в этом случае действия внешних сил (сила тяжести и сила натяжения нити) скомпенсированы:

$$mv = (m + M)u \quad (2)$$

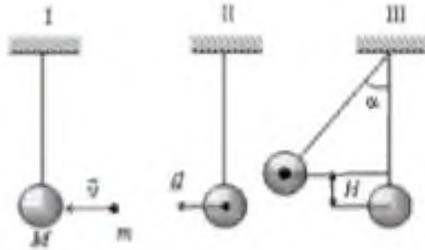


Рис. 3

скомпенсированы:

$$mv = (m + M)u \quad (2)$$

Закон сохранения импульса записан в скалярном виде, так как импульс в начальном и конечном состоянии направлен одинаково.

При переходе шара с застрявшей в нем пулей из состояния II в состояние III можно воспользоваться законом сохранения механической энергии. Будем отсчитывать потенциальную энергию взаимодействия шара с Землей от центра масс шара, находящегося в положении равновесия. Тогда

$$\frac{(m + M)u^2}{2} = (m + M)gH \quad (3)$$

Из геометрических соображений ясно, что

$$H = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

Решая совместно (2)–(4), получим

$$l = \frac{(mv)^2}{4(m + M)^2 g \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \approx 0,065 \text{ м}$$

$$l = \frac{(mv)^2}{4(m + M)^2 g \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \approx 0,065 \text{ м}$$

Ответ:

Задача 5. Пять одинаковых шаров, центры которых лежат на одной прямой, находятся на небольшом расстоянии друг от друга. В крайний шар ударяется такой же шар, имеющий скорость $v = 20$ м/с, которая направлена вдоль линии, соединяющей центры шаров. Найдите скорость последнего шара, считая соударения шаров абсолютно упругими. Решение: При столкновении двух одинаковых шаров движущийся шар останавливается, а покоящийся приобретает его скорость. Поэтому после последовательных столкновений все шары будут покоиться, кроме последнего, который приобретет скорость $v = 20$ м/с. Ответ: скорость последнего шара $v = 20$ м/с.

Задача 6. Четыре одинаковых тела равной массы по $m = 20$ г каждое расположены на одной горизонтальной прямой на некотором расстоянии друг от друга. В крайнее тело ударяется такое же тело, имеющее скорость $v_0 = 20$ м/с и движущееся вдоль прямой, на которой расположены тела. Считая соударения тел абсолютно неупругими, найдите кинетическую энергию E_k системы после прекращения соударений.

Решение:

Так как удар неупругий, то полная механическая энергия системы тел не сохраняется. Но будет сохраняться полный импульс системы, то есть

$$mv_0 = 5mv,$$

следовательно, вся система слипшихся шаров будет двигаться со скоростью

$$v = \frac{v_0}{5},$$

а ее кинетическая энергия будет равна

$$E_k = \frac{mv_0^2}{10} = 0,8 \text{ Дж.}$$

Ответ: $E_k = \frac{mv_0^2}{10} = 0,8 \text{ Дж.}$

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. На тело действуют две силы $\vec{F}_1 = \{3, -1\}$ и $\vec{F}_2 = \{-5, 3\}$. Тело переместилось из точки с координатами $(1, 0)$ в точку с координатами $(-2, 3)$. Определите работу, совершенную каждой силой. Все величины дайте в системе СИ.

Ответ: $A_1 = -12 \text{ Дж. } A_2 = 24 \text{ Дж.}$

Задача 2. Стоящий на льду человек массой $M = 60$ кг ловит мяч массой $m = 0,5$ кг, который летит горизонтально со скоростью $v_1 = 20$ м/с. На какое расстояние откатится человек с мячом по горизонтальной поверхности льда, если коэффициент трения μ равен 0,03?

Ответ: $S = \left(\frac{mv_1}{m+M} \right)^2 \frac{1}{2\mu g} = 4 \text{ см.}$

Задача 3. Человек на Земле прыгает на высоту $h_3 = 1$ м. На какую высоту h_n , затратив ту же энергию, он прыгнет на Луне? Радиус Луны $R_n = 0,27R_3$, а ее плотность $\rho_n = 0,6\rho_3$.

Ответ: $h_n = \frac{\rho_3 R_3}{\rho_n R_n} = 6,17 \text{ м.}$

Задача 4. Тело массой $m_1 = 1 \text{ кг}$, движущееся со скоростью v , налетает на покоящееся второе тело и после упругого столкновения отскакивает от него под углом $\frac{\pi}{2}$ к первоначальному направлению со скоростью $v_1 = \frac{2}{3}v$. Найдите массу m_2 второго тела.

Ответ: $m_2 = \frac{13}{5}m_1 = 2,6 \text{ кг}$.

Задача 5. Шарик массой m соскальзывает по желобу, имеющему на конце горизонтальный участок с высотой $H = 1,4 \text{ м}$. В конце желоба он сталкивается с таким же шариком, установленным на подставке на высоте $h = 0,7 \text{ м}$ (рис. 5). Считая удар абсолютно упругим, определите дальность полета второго шарика.

Ответ: $s = 2\sqrt{h(H-h)} = 1,4 \text{ м}$.

Задача 6. На конце соломинки, лежащей на гладком столе, сидит маленький кузнечик массы m . С какой наименьшей скоростью относительно неподвижного наблюдателя должен прыгнуть кузнечик, чтобы попасть на другой конец соломинки? Масса соломинки M , ее длина l .

Ответ: $v = \sqrt{\frac{M}{M+m}} \frac{l}{t}$.

Задача 7. На группу из трех гладких одинаковых кубиков, лежащих на гладкой горизонтальной поверхности, как показано на рисунке, налетает со скоростью v гладкая шайба (рис. 6). Масса каждого кубика равна массе шайбы. Диаметр шайбы и ее высота равны ребру кубика. Определите скорости всех тел после соударения.

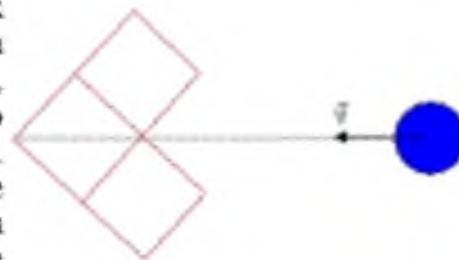


Рис. 6

Ответ: после удара шайба останавливается, средний кубик остается неподвижным, крайние кубики будут двигаться со скоростью $v_1 = v\sqrt{2}$ под углом 45° к направлению скорости движения шайбы.

Практическое занятие № 5 Основы молекулярно-кинетической теории газа

Цель занятия - усвоить основные законы молекулярно-кинетической теории газов, научиться применять их при решении задач.

Основные теоретические положения

1.1 Количество вещества

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}$$

m — масса;

μ — молярная масса вещества;

N — число молекул;

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ — число Авогадро

1.2 Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

$$p = \frac{1}{3} m n \langle v^2 \rangle$$

p — давление идеального газа;

m — масса одной молекулы;

$n = N/V$ — концентрация молекул;

V — объем газа;

N — число молекул;

$$\langle v^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2 \quad \text{— среднее значение квадрата скорости молекул.}$$

1.3 Средняя квадратичная скорость молекул идеального газа

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана;

$R = kN_A = 8,31$ Дж/(моль·К) — универсальная газовая постоянная;

$T = t + 273$ — абсолютная температура;

t — температура по шкале Цельсия.

1.4 Средняя кинетическая энергия молекулы одноатомного газа

— 3 —

1.5 Давление идеального газа

$$p = nkT$$

n — концентрация молекул;

k — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура.

1.6 Закон Бойля-Мариотта

$$pV = \text{const} \quad (t^\circ = \text{const})$$

p — давление;

V — объем газа.

1.7 Закон Шарля

$$p = p_0(1 + \alpha t^\circ) \quad (V = \text{const})$$

p_0 — давление газа при 0°C ;

$\alpha = 1/273^\circ\text{C}^{-1}$ — температурный коэффициент давления.

1.8 Закон Гей-Люссака

$$V = V_0(1 + \alpha t^\circ) \quad (p = \text{const})$$

V_0 — объем газа при 0°C .

1.9 Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \nu RT$$

1.10 Объединенный закон газового состояния (уравнение Клапейрона)

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

1.11 Закон Дальтона

$$p = \sum_{i=1}^n p_i$$

p_i — парциальное давление i -й компоненты смеси газов.

2. Основы термодинамики

2.1 Внутренняя энергия идеального одноатомного газа

$$U = \frac{3}{2} \nu RT$$

Контрольные вопросы :

- 1) Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов.
- 2) Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул идеального газа? Как эта величина зависит от числа степеней свободы?
- 3) Как определить среднюю полную кинетическую энергию молекул идеального газа?
- 4) Функция распределения молекул газа по модулям их скоростей. Физический смысл функции распределения.
- 5) Как определить среднюю, среднеквадратичную и наиболее вероятную скорости молекул идеального газа?
- 6) Как найти среднее значение физической величины, если известна функция распределения?

7) Барометрическая формула, ее физическое содержание.

8) Функция распределения Больцмана для частиц во внешнем потенциальном поле.

Алгоритм решения задач по молекулярно-кинетической теории газов

А. Исследование задачи: Переписать условие. Записать краткое условие, выразив все величины в единицах СИ.

В. Физическая часть решения:

Если газ не меняет своего состояния или меняется его масса, то, для определения его параметров, следует использовать уравнение Менделеева – Клапейрона.

Если даны два состояния и масса газа не меняется, то можно использовать уравнение Клапейрона или уравнение изопроцесса.

Если даны два состояния и масса газа меняется, то надо записать уравнение Менделеева – Клапейрона для каждого состояния.

Ненасыщенный пар подчиняется всем законам идеального газа, насыщенный уравнению Менделеева – Клапейрона.

Примеры решения задач

Задача 1. Определить молярную массу M углекислого газа CO_2 .

Задача 2. Найти молярную массу M смеси кислорода массой $m_1=25$ г и азота массой $m_2=75$ г.

Р е ш е н и е. Молярная масса смеси $M_{см}$ есть отношение массы смеси $m_{см}$ к количеству вещества смеси $\nu_{см}$. Т. е.

$$M_{см} = m_{см} / \nu_{см}. \quad (1)$$

Масса смеси равна сумме масс компонентов смеси $m_{см} = m_1 + m_2$. Количество вещества смеси равно сумме количеств вещества компонентов.

Подставив в формулу (1) выражения $m_{см}$ и $\nu_{см}$, получим

$$M_{см} = \frac{m_1 + m_2}{m_1/M_1 + m_2/M_2}. \quad (2)$$

Применив способ, использованный в примере 1, найдем молярные массы M_1 кислорода и M_2 азота:

$$M_1 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}, \quad M_2 = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$$

Подставим значения величин во (2) и произведем вычисления:

$$\begin{aligned} M_{см} &= \frac{25 \cdot 10^{-3} + 75 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3} / (32 \cdot 10^{-3}) + 75 \cdot 10^{-3} / (28 \cdot 10^{-3})} \text{ кг. моль} = \\ &= 28,9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}. \end{aligned}$$

Задача 3. Определить: 1) число N молекул воды, занимающей при температуре $t=4\text{ }^\circ\text{C}$ объем $V=1\text{ мм}^3$; 2) массу m_1 молекулы воды; 3) диаметр d молекулы воды, считая, что молекулы имеют форму шариков, соприкасающихся друг с другом.

Решение. 1. Число N молекул, содержащихся в теле некоторой массы m , равно произведению постоянной Авогадро N_A на количество вещества ν : $N=N_A\nu$. Так как $\nu=m/M$, где M — молярная масса, то $N=(m/M)N_A$. Выразив в этой формуле массу как произведение плотности ρ на объем V , получим

$$N = (\rho V/M) N_A. \quad (1)$$

Все величины, кроме молярной массы воды, входящие в (1), известны: $\rho=1\cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ (см. табл. 9), $V=1\text{ мм}^3=1\cdot 10^{-9}\text{ м}^3$, $N_A=6,02\cdot 10^{23}\text{ моль}^{-1}$ (см. табл. 24).

Зная химическую формулу воды (H_2O), найдем молярную массу воды (см. пример 1):

$$M = M_r k = (2 \cdot 1 + 1 \cdot 16) \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль} = 18 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}.$$

Подставим значения величин в (1) и произведем вычисления:

$$N = [1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} / (18 \cdot 10^{-3})] \cdot 6,02 \cdot 10^{23}\text{ молекул} = 3,34 \cdot 10^{19}\text{ молекул}.$$

2. Массу одной молекулы воды найдем делением ее молярной массы на постоянную Авогадро: $m_1=M/N_A$. Произведя вычисления по этой формуле, получим

$$m_1 = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}}\text{ кг} = 2,99 \cdot 10^{-26}\text{ кг}.$$

3. Будем считать, что молекулы плотно прилегают друг к другу, тогда на каждую молекулу диаметром d приходится объем (кубическая ячейка) $V_1=d^3$. Отсюда

$$d = \sqrt[3]{V_1}. \quad (1)$$

Объем V_1 найдем, разделив молярный объем V_m вещества на число молекул в моле, т. е. на постоянную Авогадро N_A : $V_1=V_m/N_A$. Молярный объем равен отношению молярной массы к плотности вещества, т. е. $V_m=M/\rho$. Поэтому можем записать, что $V_1=M/(\rho N_A)$. Подставив полученное выражение V_1 в формулу (1), получим

$$d = \sqrt[3]{M/(\rho N_A)}. \quad (2)$$

Проверим, дает ли правая часть выражения (2) единицу длины:

$$[d] = \left\{ \frac{[M]}{[\rho][N_A]} \right\}^{1/3} = \left\{ \frac{\text{кг/моль}}{(\text{кг/м}^3) \cdot (1/\text{моль})} \right\}^{1/3} = \text{м}.$$

Теперь подставим значения величин в формулу (2) и произведем вычисления:

$$d = 3,11 \cdot 10^{-10}\text{ м} = 311\text{ пм}.$$

Задача 4. В баллоне объемом $V=10$ л находится гелий под давлением $p_1=1$ МПа при температуре $T_1=300$ К. После того как из баллона был израсходован гелий массой $m=10$ г, температура в баллоне понизилась до $T_2=290$ К. Определить давление p_2 гелия, оставшегося в баллоне.

Решение. Для решения задачи воспользуемся уравнением Клапейрона — Менделеева, применив его дважды к начальному и конечному состояниям газа. Для начального состояния уравнение имеет вид

$$p_1 V = (m_1/M) R T_1, \quad (1)$$

а для конечного состояния —

$$p_2 V = (m_2/M) R T_2, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 — массы гелия в начальном и конечном состояниях.

Выразим массы m_1 и m_2 гелия из уравнений (1) и (2):

$$m_1 = M p_1 V / (R T_1); \quad (3)$$

$$m_2 = M p_2 V / (R T_2). \quad (4)$$

Вычитая из (3) равенство (4), получим

$$m = m_1 - m_2 = \frac{M p_1 V}{R T_1} - \frac{M p_2 V}{R T_2}.$$

Отсюда найдем искомое давление:

$$p_2 = \frac{R T_2}{M V} \left(\frac{M p_1 V}{R T_1} - m \right) = \frac{T_2}{T_1} p_1 - \frac{m}{M} \frac{R T_2}{V}. \quad (5)$$

Проверим, дает ли правая часть формулы (5) единицу давления. Для этого выразим все величины, входящие в нее, в соответствующих единицах. Единица, в которой выражается первое слагаемое, не вызывает сомнений, так как отношение T_2/T_1 — величина безразмерная. Проверим, в каких единицах выражается второе слагаемое:

$$\begin{aligned} \frac{[m]}{[M]} \frac{[R]}{[V]} \frac{[T_2]}{[T_1]} &= \frac{\text{кг}}{\text{кг/моль}} \frac{[\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})] \cdot \text{К}}{\text{м}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{Дж} \cdot \text{К} \cdot \text{моль}}{\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{К} \cdot \text{моль}} = \\ &= \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}. \end{aligned}$$

Убедившись в том, что правая часть полученной расчетной формулы дает единицу искомой величины — давления, можем подставить в (5) значения всех величин и произвести вычисления.

В формуле (5) все величины, кроме молярной массы M гелия, известны. Найдем ее (см. пример 1). Для гелия как одноатомного газа относительная молекулярная масса равна его относительной атомной массе A_r .

Из таблицы Д. И. Менделеева найдем $A_r=4$. Следовательно, молярная масса гелия

$$M = A_r \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$$

Подставив значения величин в (5), получим

$$p_2 = \frac{290}{300} \cdot 10^6 - \frac{10 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{8,31 \cdot 290}{10 \cdot 10^{-3}} \text{ Па} = 3,64 \cdot 10^5 \text{ Па} = 364 \text{ Па}.$$

Задача 5. В колбе вместимостью $V=0,5$ л находится кислород при нормальных условиях. Определить среднюю энергию $\langle W_n \rangle$ поступательного движения всех молекул, содержащихся в колбе.

Решение. Средняя энергия $\langle W_n \rangle$ поступательного движения всех молекул может быть выражена соотношением

$$\langle W_n \rangle = \langle \epsilon_n \rangle N, \quad (1)$$

где $\langle \epsilon_n \rangle$ — средняя энергия поступательного движения одной молекулы; N — число всех молекул, содержащихся в колбе.

Как известно,

$$\langle \epsilon_n \rangle = \frac{3}{2} kT, \quad (2)$$

где k — постоянная Больцмана; T — термодинамическая температура.

Число молекул, содержащихся в колбе, найдем по формуле

$$N = \nu N_A, \quad (3)$$

где ν — количество вещества кислорода; N_A — постоянная Авогадро.

Количество вещества ν найдем из таких соображений: известно, что при нормальных условиях молярный объем V_m равен $22,4 \times 10^{-3}$ м³/моль. Так как, по условию задачи, кислород в колбе находится при нормальных условиях, то количество вещества кислорода в колбе выражается соотношением

$$\nu = V/V_m. \quad (4)$$

Подставив выражение ν по (4) в (3), получим

$$N = VN_A/V_m. \quad (5)$$

С учетом (2) и (5) выражение (1) энергии поступательного движения молекул примет вид

$$W_n = \frac{3kTVN_A}{2V_m}. \quad (6)$$

Проверим, дает ли правая часть расчетной формулы единицу энергии (джоуль). Для этого вместо символов величин подставим единицы, в которых эти величины выражаются:

$$[W_n] = \frac{(\text{Дж/К}) \cdot \text{К} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}}{\text{м}^3/\text{моль}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{К} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}}{\text{м}^3 \cdot \text{К} \cdot \text{моль}} = \text{Дж}.$$

Подставив значения величин в (6) и произведя вычисления, найдем

$$W_n = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{2 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж} = 75,9 \text{ Дж}.$$

Задача 6. Найти среднюю кинетическую энергию одной молекулы аммиака NH₃ при температуре t=27 °C и среднюю энергию вращательного движения этой молекулы при той же температуре

Решение. Средняя полная энергия молекулы определяется по формуле

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2} kT, \quad (1)$$

где i — число степеней свободы молекулы; k — постоянная Больцмана; T — термодинамическая температура газа: $T = t + T_0$, где $T_0 = 273$ К.

Число степеней свободы i четырехатомной молекулы, какой является молекула аммиака, равно 6.

Подставим значения величин в (1):

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{6}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} (27 + 273) \text{ Дж} = 1,242 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}.$$

Средняя энергия вращательного движения молекулы определяется по формуле

$$\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle = \frac{i-3}{2} kT, \quad (2)$$

где число 3 означает число степеней свободы поступательного движения.

Подставим в (2) значения величин и вычислим:

$$\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle = \frac{6-3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} (27 + 273) \text{ Дж} = 6,21 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Заметим, что энергию вращательного движения молекул аммиака можно было получить иначе, разделив полную энергию (ϵ) на две равные части. Дело в том, что у трех (и более) атомных молекул число степеней свободы, приходящихся на поступательное и вращательное движение, одинаково (по 3), поэтому энергии поступательного и вращательного движений одинаковы. В данном случае

$$\langle \epsilon_{\text{п}} \rangle = \langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle = \frac{\langle \epsilon \rangle}{2} = \frac{1,242 \cdot 10^{-20}}{2} \text{ Дж} = 6,21 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить массу 1 молекулы: 1) углекислого газа; 2) поваренной соли.

Ответ: $m = \mu k / N_A$; 1) $m = 7,31 \cdot 10^{-26}$ кг; 2) $m = 9,7 \cdot 10^{-26}$ кг.

Задача 2. В сосуде вместимостью $V = 2$ л находится кислород, количество вещества ν которого равно 0,2 моль. Определить плотность ρ газа. Ответ: $\rho = M \nu k \nu / V = 3,2$ кг/м³ (M — относительная молекулярная масса; $k = 10^{-3}$ кг/моль).

Задача 3. Кислород при нормальных условиях заполняет сосуд вместимостью $V = 11,2$ л. Определить количество вещества ν и его массу m . Ответ: $\nu = V / V_m = 0,5$ моль; $m = \mu k \nu = 16$ г.

Задача 4. Определить количество вещества ν водорода, заполняющего сосуд вместимостью $V = 3$ л, если плотность газа $\rho = 6,65 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Ответ: $\nu = \rho V / \mu = 9,97 \cdot 10^{-3}$ моль.

Задача 5. Колба вместимостью $V = 0,5$ л содержит газ при нормальных условиях. Определить число N молекул газа, находящихся в колбе. Ответ: $N = N_A V / V_m = 1,34 \cdot 10^{22}$ ($V_m = 22,4 \cdot 10^{-3}$ м³/моль — молярный объем идеального газа при нормальных условиях).

Задача 6. В сосуде вместимостью $V = 5$ л находится однородный газ количество вещества $\nu = 0,2$ моль. Определить, какой это газ, если его плотность $\rho = 1,12$ кг/м³.
 Ответ: азот, т.к. $\mu = \rho V / (\nu k) = 28$.
 Задача 7. Одна треть молекул азота массой $m = 10$ г распалась на атомы. Определить полное число N частиц, находящихся в газе. Ответ: $20 \cdot 10^{23}$ частиц.

Задача 8. Определить среднее расстояние между центрами молекул водяных паров

при нормальных условиях и сравнить его с диаметром d самих молекул ($d = 0,311$ нм).

Ответ: $\rho \approx 10,7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{V} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot \frac{d^3}{6} \cdot l$.

Задача 9. В цилиндре длиной $l = 1,6$ м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении P_0 , начали медленно вдвигать поршень площадью $S = 200$ см². Определить силу F , которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии $l_1 = 10$ см от дна цилиндра. Ответ: $F = (l/h)PS = 32,3$ кН.

Практическая работа №7 Тепловые явления

Цель работы: познакомить учащихся с тепловыми явлениями на основе МКТ, научить применять полученные знания при решении задач.

Основные теоретические положения

Температура тела зависит от скорости движения молекул.

Беспорядочное движение молекул называют тепловым движением.

Внутренняя энергия – это сумма потенциальной и кинетической энергии всех молекул, из которых состоит вещество.

Внутренняя энергия не зависит от мех. движения тела или его положения относительно других тел.

При повышении t° увеличивается.

меняется 2-мя способами:

1. Путем совершения работы;
2. Путем теплообмена (теплопередачи)

Теплопередача:

1. Теплопроводность – передача E от одной части тела к другой в результате теплового движения молекул (тв. тела)
2. Конвекция – перемещение самого вещества в жидкостях и газах. (жидкость и газ)
3. Излучение – испускание лучей (не нужна среда, возможно в вакууме)

Количество теплоты – энергия, получаемая или отдаваемая телом при теплопередачи.

$$[Q] = [Дж]$$

Процессы:

I. Нагревание или охлаждение (не меняя агрегатного состояния вещества)

$$Q = cm\Delta t = cm(t_2^\circ - t_1^\circ)$$

m – масса

Δt° – изменение температуры

c – удельная теплоемкость, численно равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить каждому кг данного вещества, чтобы повысить его t° на 1°C .

$$[c] = \left[\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

II. Сгорание топлива

$$Q = qm$$

m – масса

q – удельная теплота сгорания топлива – физическая величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полной сгорании топлива массой 1 кг.

$$[q] = \left[\frac{Дж}{кг} \right]$$



1.

Плавнение

2. Кристаллизация

3. Парообразование (испарение, кипение)

4.

□ Конденсация

5. Десублимация

6. Сублимация (возгонка)

III. Плавнение и кристаллизация

процесс плавения или кристаллизации осуществляется на горизонтальном участке графика АВ при постоянной температуре, называемой температурой плавения. (табличная величина)

Плавнение – Q подводится системе

Кристаллизация – Q отводится от системы

$$Q = \lambda m$$

m – масса

λ – удельная теплота плавления показывает какое количество теплоты необходимо передать каждому кг вещества, взятому при температуре плавления, чтобы его полностью расплавить.

IV. Парообразование и конденсация

процесс парообразования или конденсации осуществляется на горизонтальном участке графика АВ при постоянной температуре, называемой температурой кипения. (табличная величина)

Парообразование – Q подводится системе

Конденсация – Q отводится от системы

$$Q = Lm$$

m – масса

L – удельная теплота парообразования показывает какое количество теплоты необходимо сообщить каждому кг жидкости, взятой при температуре кипения, чтобы обратить жидкость в пар.

Насыщенный пар – пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью. (сколько молекул переходит из жидкости в пар, столько же и переходит обратно, из пара в жидкость.)

ü Абсолютная влажность воздуха – плотность водяного пара в воздухе.

ü Относительная влажность воздуха – отношение абсолютной влажности к плотности насыщенного пара при той же температуре.

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$$

Точка росы – температура, при которой пар становится насыщенным.

Гигрометр и психрометр – приборы для измерения влажности воздуха.

Тепловые двигатели – это машины, в которых происходит превращение внутренней энергии топлива в механическую энергию.

КПД – отношение совершенной полезной работы двигателя, к энергии, полученной от нагревателя.

$$\text{КПД} = \frac{\text{работа полезная}}{\text{работа затраченная}} \cdot 100\% \\ (\text{кол} - \text{во теплоты})$$

$$\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\%$$

Влажность воздуха. Способы определения влажности воздуха

Окружающий нас атмосферный воздух вследствие непрерывного испарения воды с поверхности водоёмов и растительных покровов всегда содержит в себе водяные пары. Содержание водяного пара в атмосфере характеризует такое понятие, как «влажность».



Конденсационный
гигрометр

Она имеет большое значение для многих процессов, происходящих в атмосфере. Влажность воздуха характеризует погоду и климат, влияет на теплообмен организма с окружающей средой, на жизнь животных и растений.

Чем больше водяных паров находится в определённом объёме воздуха, тем ближе пар к состоянию насыщения. С другой стороны, чем выше температура воздуха, тем большее количество водяных паров потребуется для его насыщения.

В зависимости от количества паров, находящихся при данной температуре в атмосфере, воздух бывает различной степени влажности.

Абсолютная влажность ρ показывает, сколько граммов водяного пара содержится в воздухе объёмом 1 м^3 при данных условиях, т. е. плотность водяного пара.

Чтобы судить о степени влажности воздуха, важно знать, близок или далёк водяной пар, находящийся в воздухе, от состояния насыщения. Для этого вводят понятие **относительной влажности**.

- **Относительной влажностью воздуха φ называют отношение абсолютной влажности воздуха ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженной в процентах.**

Относительную влажность воздуха можно определить по формуле

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$$

Если влажный воздух охлаждать, то при некоторой температуре находящийся в нём пар можно довести до насыщения. При дальнейшем охлаждении водяной пар начнёт конденсироваться в виде росы. Появляется туман, выпадает роса.

- **Температура, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется точкой росы.**

Точка росы также характеризует влажность воздуха.

Для определения влажности воздуха используют такие приборы,



Рис. 23. Внешний вид и устройство конденсационного гигрометра

как гигрометр и психрометр.

Гигрометры бывают двух видов — конденсационные и волосные.

С помощью конденсационного гигрометра можно определить абсолютную влажность воздуха по точке росы. Он представляет собой металлическую коробочку 1 (рис. 23). Её передняя стенка 2 хорошо отполирована и окружена также отполированным кольцом 3. Между стенкой и кольцом расположена теплоизолирующая прокладка 4. К коробочке подсоединена резиновая груша 5 и вставлен термометр 6. Если в коробку налить легко испаряющуюся жидкость (эфир), то, продувая воздух через коробку с помощью груши, можно вызвать сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки. На полированной поверхности появляются капельки росы.



Рис. 24. Волосной гигрометр

По термометру замечают температуру, при которой они появляются. Это и есть точка росы, так как появление росы говорит о том, что пар стал насыщенным. По таблице плотности насыщенного водяного пара и определяют абсолютную влажность воздуха.

Действие волосного гигрометра (рис. 24) основано на свойстве человеческого волоса удлиняться при увеличении относительной влажности воздуха. При увеличении влажности воздуха длина волоса увеличивается, а при уменьшении влажности его длина уменьшается. При этом стрелка, перемещаясь по шкале, указывает относительную влажность воздуха.

Прибор для определения влажности воздуха — психрометр — состоит из двух термометров, один из которых обмотан тканью, конец которой опущен в воду. Поскольку вода испаряется, то термометр охлаждается.



Чем больше относительная влажность, тем менее интенсивно идёт испарение. Следовательно, разность показаний сухого и влажного термометров будет меньше. По этой разности температур с помощью специальных таблиц и определяют относительную влажность воздуха.

Определение влажности воздуха необходимо в метеорологии для предсказания погоды, в теплицах и оранжереях для поддержания нужного режима растениям. Работа многих технических устройств и возникновение коррозии зависит от влажности воздуха. Для хранения произведений искусства и книг необходимо поддерживать влажность воздуха на определённом уровне. От влажности воздуха

зависит интенсивность испарения влаги с поверхности кожи человека. Чтобы

человек чувствовал себя комфортно, влажность воздуха в помещениях должна быть 40—60%.

Контрольные вопросы

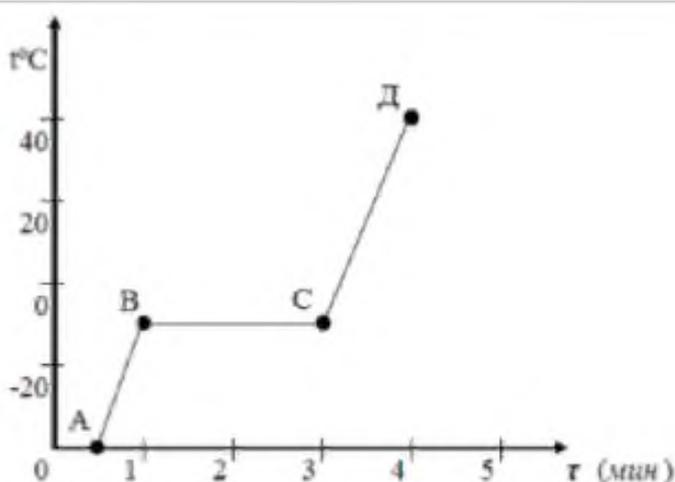
1. Что называют относительной влажностью воздуха?
2. Что называется точкой росы?
3. Какие приборы используют для определения влажности воздуха?
4. Как определить точку росы с помощью конденсационного гигрометра?
5. Как, используя психрометр, можно узнать относительную влажность воздуха?
6. Оба термометра в психрометре показывают одинаковую температуру. Какова относительная влажность воздуха?
7. Как изменится разность показаний сухого и влажного термометров в психрометре при понижении температуры воздуха, если абсолютная влажность остаётся без изменения?
8. Почему вечером после жаркого дня появляется роса?

Алгоритм решения задач

- 1 этап — внимательно ознакомиться с условием задачи;
- 2 этап — выяснить, какие тела взаимодействуют;
- 3 этап — выяснить, о каком физическом явлении или группе явлений идет речь;
- 4 этап — выяснить состояние тела при начальных условиях;
- 5 этап — выяснить, что происходит с физическими телами в результате действия физического явления (например, изменение формы, объема или агрегатного состояния, а также силы, возникающие при этом);
- 6 этап — выяснить, как это сказывается на взаимодействующих телах;
- 7 этап — ответить на вопрос задачи.

Примеры решения задач

Задача 1. В калориметре нагревается 200 г льда. На рисунке представлен график зависимости температуры льда от времени. Пренебрегая теплоёмкостью калориметра и тепловыми потерями, определите подводимую к нему мощность из рассмотрения процессов нагревания льда и/или воды.



Решение:

^ Рассмотрим график.

Что происходит со льдом на разных участках:

АВ — лёд нагревается $Q_{AB} = c_L \cdot m(t_2^{\circ} - t_1^{\circ})$, время нагревания $\tau_1 = 30$ с.

ВС — лёд плавится $Q_{BC} = \lambda \cdot m$, время плавления $\tau_2 = 120$ с.

СД — нагревание воды $Q_{CD} = c_L \cdot m(t_3^{\circ} - t_2^{\circ})$, время нагревания $\tau_3 = 60$ с.

- Лёд (потом вода) всё время получает тепло, кто же его отдаёт?

$$P = \frac{Q}{\tau}$$

- Нагреватель, мощность которого

Для определения мощности возьмем жидкую фазу.

уравнение теплового баланса

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{получ}}$$

$$P \tau_3 = c_{\text{в}} \cdot m(t_3^{\circ} - t_3^{\circ}) \Rightarrow P = \frac{c_{\text{в}} \cdot m(t_3^{\circ} - t_3^{\circ})}{\tau_3} = 560 \text{ Вт}$$

Задача 2. В латунном калориметре массой 100 г находится 5 г льда при $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$. В калориметр вливают 30 г. расплавленного свинца при температуре плавления; что будет находиться в калориметре после теплообмена и какая в нём установится температура? Потерями на испарение пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

$$m_2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$t_2 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$m_3 = 30 \text{ г} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$$m = ? \quad \theta = ?$$

Решение:

Уравнение теплового баланса для задач такого типа сразу составить нельзя, так как неизвестен результат процесса теплообмена.

Чтобы его установить проведём некоторые исследования.

Теплообмен в системе происходит между тремя телами: калориметр и лёд получают, а свинец отдаёт количество теплоты.

При этом, конечно, справедливо уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

После окончания процесса в системе установится некоторая температура θ .

$$t_2 < \theta < t_{\text{плз}}$$

Такая неопределённость конечной температуры вызвано тем, что при теплообмене могут происходить фазовые переходы льда и свинца.

Поступим так: Произвольно выберем значение конечной температуры θ , затем рассчитаем для этой температуры значения 1, 2, 3, после чего проверим тождественность выполнения уравнения теплового баланса. И так, допустим, что , т.е. мы считаем, что теплообмен проходит так: свинец полностью отвердел и охладился , а калориметр и лёд нагрелись до . Допустим, что лёд не плавился.

Теперь рассчитаем Q_1 , Q_2 и Q_3 .

$$Q_1 = c_1 \cdot m_1 (t_{пл2}^{\circ} - t_2^{\circ}); \quad Q_1 = 380 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = c_2 \cdot m_2 (t_{пл2}^{\circ} - t_2^{\circ}); \quad Q_2 = 105 \text{ Дж}$$

$$Q_3 = \lambda_3 \cdot m_3 + c_3 \cdot m_3 (t_{пл3}^{\circ} - t_{пл2}^{\circ}); \quad Q_3 = 2025 \text{ Дж}$$

$$Q_1 + Q_2 = 485 \text{ Дж}$$

$$Q_3 = 2025 \text{ Дж}$$

$Q_1 + Q_2 < Q_3$, т.е. тепла было отдано больше, чем получено.

Видим, что при сделанных предположениях уравнение теплового баланса не выполняется.

Допустим, что конечная температура по-прежнему $t_{сп} = t_{пл2} = 0^{\circ}\text{C}$, но при этом расплавилась часть льда массой m_1 .

$$m_1 = \frac{1540 \text{ Дж}}{3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 4,6 \text{ г}$$

Т.к. масса получившейся воды не больше, чем начальная масса льда, то наши последние предположения о результатах теплообмена верны.

Таким образом, установившаяся температура 0°C , в калориметре находится

лёд массой $4 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$, вода массой $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ и твердый свинец массой $3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$.

Задача 3. Удельная теплота сгорания пшеничного хлеба 9260000 Дж/кг , а сливочного масла -32690000 Дж/кг . какую энергию получит человек, съев бутерброд с маслом (100 гр. хлеба и 20 гр. масла)?

<p>Дано:</p> <p>$q_1 = 9260000 \text{ Дж/кг}$</p> <p>$m_1 = 100 \text{ г}$</p> <p>$q_2 = 32690000 \text{ Дж/кг}$</p> <p>$m_2 = 20 \text{ г}$</p> <p>Найти:</p> <p>$Q = ?$</p>	<p>Решение: $Q = Q_1 + Q_2$</p> <p>СИ</p> <p>$Q_1 = q_1 \cdot m_1$ $Q_2 = q_2 \cdot m_2$</p> <p>$0,1 \text{ кг}$</p> <p>$0,02 \text{ кг}$</p> <p>$Q_1 = 9260000 \text{ Дж/кг} \cdot 0,1 \text{ кг} = 926000 \text{ Дж}$</p> <p>$Q_2 = 32690000 \text{ Дж/кг} \cdot 0,02 \text{ кг} = 653800 \text{ Дж}$</p> <p>$Q = 926000 \text{ Дж} + 653800 \text{ Дж} = 1579800 \text{ Дж} = 1,6 \text{ МДж}$</p>
--	--

Задача 4.
Первая

атомная электростанция, построенная в России в 1954г. расходует в сутки ядерное топливо массой 30 гр. (плакат б). Вычислите количество теплоты, получаемое в сутки, если удельная теплотворная способность (теплота «сгорания») ядерного топлива $8 \cdot 10^{13} \text{ кДж/кг}$.

<p>Дано:</p> <p>$m = 30 \text{ г}$</p> <p>$q = 8 \cdot 10^{13} \text{ кДж/кг}$</p> <p>$Q = ?$</p>	<p>СИ</p> <p>$0,03 \text{ кг}$</p>	<p>Решение: $Q = qm$</p> <p>$Q = 8 \cdot 10^{13} \text{ кДж}$</p> <p>$Q = 0,4 \cdot 10^{14} \text{ кДж}$</p>
--	---	---

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. До какой температуры раскаляется почва в Узбекистане, если внутренняя энергия каждого кубометра изменяется при этом на 93,744 МДж? Начальная температура почвы 17 °С, плотность грунта 1800 кг/м³, его удельная теплоемкость 0,84 кДж/(кг • К).

Ответ: 79 °С.

Задача 2. В 1879 г. на Урале нашли монолит малахита массой 1054 кг. На сколько изменилась его внутренняя энергия, если при перевозке температура возросла на 20 °С?

Ответ: на 25,3 МДж.

Задача 3. Какова температура воды в самом горячем озере на Камчатке, если для приготовления ванны объемом 200 л температурой 40 °С в нее влили 40 л воды при 10 °С?

Ответ: 50 °С.

Задача 4. Какова температура воды в самом горячем озере на Камчатке, если для приготовления ванны объемом 200 л температурой 40 °С в нее влили 40 л воды при 10 °С?

Ответ: 50 °С.

Задача 5. Какова летняя температура воды в самом холодном ВосточноСибирском море, если для получения 10 м³ воды при температуре 20 °С в нее надо добавить 2 л кипятка?

Ответ: 0 °С.

Практическое занятие № 8.

Тепловые двигатели

Цели:

- помочь учащимся сформулировать принципы работы тепловой машины, разобраться в ее принципиальном, с точки зрения физики, устройстве;
- научить вычислять полезную работу, совершенную тепловой машиной за цикл;
- освоить методы расчета к.п.д. тепловых двигателей.

Основные теоретические положения

Тепловой двигатель - это периодически действующий двигатель, совершающий работу за счет полученной извне теплоты.

Термостатом называется термодинамическая система, которая может обмениваться теплотой с телами практически без изменения собственной температуры.

Рабочее тело - это тело, совершающее круговой процесс и обменивающееся энергией с другими телами.

Принцип работы теплового двигателя: от термостата с более высокой температурой T_1 , называемого нагревателем, за цикл отнимается количество теплоты Q_1 , а термостату с более низкой температурой T_2 , называемому холодильником, за цикл передается количество теплоты Q_2 . При этом совершается работа $A=Q_1-Q_2$ (рис. 18).



Рис 18. Схема теплового двигателя и холодильной машины

Термический КПД двигателя:

$$\eta = A/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - (Q_2 - Q_1)$$

Чтобы КПД был равен 1, необходимо, чтобы $Q_2=0$, а это запрещено вторым началом термодинамики. Процесс, обратный происходящему в тепловом двигателе, используется в холодильной машине: от термостата с более низкой температурой T_2 за цикл отнимается количество теплоты Q_2 и отдается термостату с более высокой температурой T_1 . При этом $Q=Q_1-Q_2=A$ или $Q_1=Q_2+A$. Количество теплоты Q_1 , отданное системой термостату T_1 , больше количества теплоты Q_2 , полученного от термостата T_2 , на величину работы, совершенной над системой. Эффективность холодильной машины характеризует холодильный коэффициент η' - отношение отнятой от термостата с более низкой температурой количества теплоты Q_2 к работе A , которая затрачивается на приведение холодильной машины в действие:

$$\eta' = Q_2/A = Q_2/(Q_1 - Q_2).$$

Вопросы для закрепления

1. Что такое тепловая машина
2. Какие устройства необходимы для работы тепловой машины
3. Принцип работы тепловой машины
4. Что такое идеальная тепловая машина
5. Что такое КПД
6. Как определяется максимально возможный КПД теплового двигателя
7. Примеры тепловых машин

8. Что послужило причиной возникновения тепловых двигателей?
9. Изобразите простейшую схему тепловых двигателей.
10. Какие двигатели наиболее производительны?
11. Тепловые двигатели оказывают вредное воздействие на окружающую среду. Не разумнее ли отказаться от их использования?
12. Какие машины называют тепловыми двигателями?
13. Какие виды тепловых двигателей вы знаете?
14. Что является нагревателем двигателя внутреннего сгорания?
15. Что является холодильником двигателя внутреннего сгорания?
16. Из скольких тактов состоит цикл двигателя внутреннего сгорания?

Алгоритм решения задач

- 1 этап — внимательно ознакомиться с условием задачи;
- 2 этап — выяснить, какие тела взаимодействуют;
- 3 этап — выяснить, о каком физическом явлении или группе явлений идет речь;
- 4 этап — выяснить состояние тела при начальных условиях;
- 5 этап — выяснить, что происходит с физическими телами в результате действия физического явления (например, изменение формы, объема или агрегатного состояния, а также силы, возникающие при этом);
- 6 этап — выяснить, как это сказывается на взаимодействующих телах;
- 7 этап — ответить на вопрос задач.

Примеры решения расчетных задач

Задача 1.

Рабочее вещество, внутренняя энергия U которого связана с давлением P и объемом V соотношением $U = kPV$, совершает термодинамический цикл, состоящий из изобары, изохоры и адиабаты (рис. 1). Работа, совершенная веществом во время изобарного процесса, в $m = 5$ раз превышает работу внешних сил по сжатию вещества, совершенную при адиабатическом процессе. К.п.д. цикла $\eta = 1/4$. Определите k .

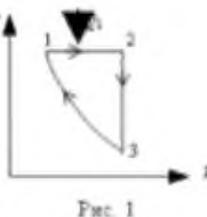


Рис. 1

Решение:

К.п.д. цикла по определению равен

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \quad (1)$$

Полезная работа, совершенная веществом за цикл

$$A = A_{12} - A_{31} \quad (2)$$

где A_{12} - работа, совершаемая веществом на изобаре $1 \rightarrow 2$, A_{31} - работа, совершенная над рабочим веществом на адиабате $3 \rightarrow 1$ ($A_{31} < 0$).

В данном цикле тепло Q_1 подводится к рабочему веществу только на изобарическом участке цикла. Согласно 1-му началу термодинамики

$$Q_1 = \Delta U_{12} + A_{12} \quad (3)$$

где ΔU_{12} - изменение внутренней энергии рабочего вещества на участке цикла $1 \rightarrow 2$.

Используя заданную в условии задачи связь внутренней энергии рабочего вещества с давлением и объемом на изобаре $1 \rightarrow 2$, можно записать

$$\Delta U_{12} = kP(V_2 - V_1) = kP\Delta V = kA_{12} \quad (4)$$

Тогда

$$Q_1 = (k+1)A_{12} \quad (5)$$

Учитывая, что, согласно условию задачи, $A_{31} = \frac{A_{12}}{m}$, уравнение (2) можно представить в виде

Практическое занятие № 8 Электродинамика

Цель работы

Цель занятия: - научиться рассчитывать напряженность электрического поля, созданного системой точечных электрических зарядов и объемными заряженными телами; - приобрести практические навыки расчета потенциала и разности потенциалов электростатических полей, созданных зарядами, заряженными проводниками; - следить за поведением проводников в электрическом поле; - выяснить, как размещаются электрические заряды на поверхности заряженного проводника, какое явление носит название электростатической индукции, а также какое значение принимает напряженность электростатического поля внутри проводника; - выяснить, что такое электроемкость и научиться рассчитывать емкости простых систем и энергию электрического поля; - усвоить основные законы теории постоянного электрического тока: обобщенный закон Ома.

Понятия: электрические заряды; элементарный электрический заряд; электрическая постоянная; электрическое поле; напряженность электрического поля; работа сил электростатического поля; потенциал; разность потенциалов; эквипотенциальные поверхности; электроемкость; конденсаторы; соединение конденсаторов в батарею.

Физические явления: проводники в электрическом поле; диэлектрики в электрическом поле; поляризация диэлектриков.

Закономерности: закон сохранения заряда; закон Кулона; определение напряженности; напряженность поля точечного заряда; принцип суперпозиции полей; формула работы сил электростатического поля; определение потенциала; определение напряжения.

Основные теоретические положения

Закон Кулона: сила взаимодействия двух точечных неподвижных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояний между ними: $F = k \cdot (|q_1| \cdot |q_2|) / r^2$.

Коэффициент пропорциональности k в этом законе равен: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ (Н} \cdot \text{м}^2) / \text{Кл}^2$.

В СИ коэффициент k записывается в виде: $k = 1 / (4\pi\epsilon_0)$, где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ (электрическая постоянная).

Точечными зарядами называют такие заряды, расстояния между которыми гораздо больше их размеров. Электрические заряды взаимодействуют между собой с помощью электрического поля. Для качественного описания электрического поля используется силовая характеристика, которая называется «напряженностью электрического поля» (E). Напряженность электрического поля равна

отношению силы, действующей на пробный заряд, помещенный в некоторую точку поля, к величине этого заряда: $E \rightarrow = F \rightarrow / q_0$. Направление вектора напряженности совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд. $[E] = \text{В/м}$. Из закона Кулона и определения напряженности поля следует, что напряженность поля точечного заряда равна $E = k \cdot q / r^2$, где q — заряд, создающий поле; r — расстояние от точки, где находится заряд, до точки, где создается поле. Если электрическое поле создается не одним, а несколькими зарядами, то для нахождения напряженности результирующего поля используется принцип суперпозиции электрических полей: напряженность результирующего поля равна векторной сумме напряженностей полей, созданных каждым из зарядов — источников в отдельности: $E \rightarrow = E \rightarrow 1 + E \rightarrow 2 + \dots + E \rightarrow n$. Работа электрического поля при перемещении заряда: найдем работу перемещения положительного заряда силами Кулона в однородном электрическом поле. Пусть поле перемещает заряд q из точки 1 в точку 2: $A = qE \cdot (d_1 - d_2) = - (qEd_1 - qEd_2)$.

В электрическом поле работа не зависит от формы траектории, по которой перемещается заряд. Из механики известно, что если работа не зависит от формы

траектории, то она равна изменению потенциальной энергии с противоположным знаком:
 $A = - (W_{p2} - W_{p1})$.

Отсюда следует, что: $W_p = qEd$.

Потенциалом электрического поля называют отношение потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду: $v = W_p / q$.

Запишем работу поля в виде: $A = - (W_{p2} - W_{p1}) = -q \cdot (v_2 - v_1) = q \cdot (v_1 - v_2) = qU$.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Кулона.
2. Для каких зарядов можно применить закон Кулона?
3. Какой заряд называется точечным, пробным?
4. Физический смысл напряженности электростатического поля.
5. Какие свойства имеет электростатическое поле?
6. Как определяется напряженность электростатического поля точечного заряда?
7. Дайте определение линий напряженности электрического поля.
8. Сформулируйте принцип суперпозиции электрических полей
9. Что такое циркуляция вектора напряженности электростатического поля и чему она равна?
10. Как распределяются электрические заряды на заряженном проводнике.
11. Чему равны напряженность и потенциал электростатического поля внутри и на поверхности проводника?
12. Как возникают индуцированные заряды?
13. Что такое емкость уединенного проводника, от чего она зависит?
14. Чему равны емкость конденсатора, емкость плоского, цилиндрического и сферического конденсаторов?
15. Как рассчитать емкость батареи при параллельном и последовательном сочетании конденсаторов?
16. Чему равна энергия отдельного проводника и энергия заряженного конденсатора?
17. Как определить электрическую энергию системы заряженных тел (проводников и полупроводников)? Где локализована эта энергия?
18. Выведите формулу для объемной плотности энергии электрического поля.

Алгоритм решения задач

1. Сделать рисунок с изображением взаимодействующих зарядов, заданных проводников, емкостей, полей; 2. При изображении электростатических полей обязательно использовать правила проведения силовых линий и эквипотенциальных поверхностей; 3. Помнить, что сила взаимодействия между зарядами рассчитывается по закону Кулона только в том случае, если заряды можно считать точечными; 4. Учитывать, в какой среде находятся заряды или создано электростатическое поле (если в условии задачи не указана среда, то подразумевается вакуум ($\epsilon = 1$) или воздух, диэлектрическая проницаемость которого близка к единице); 5. Для нахождения величин зарядов после соприкосновения заряженных тел применять закон сохранения зарядов; 6. При действии на точечный заряд нескольких сил или полей использовать принцип суперпозиции (наложения); 7. Знать, что точечный заряд или система точечных зарядов будут в равновесии, если сумма всех сил, действующих на каждый заряд, равна нулю; 8. Расчет скоростей, энергий точечных зарядов или работы по их перемещению в неоднородных полях производить на основании закона сохранения энергии.

Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц СИ

Кратные приставки			Дольные приставки		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
Йотта	И	10^{24}	деци	д	10^{-1}
зетта	З	10^{21}	санти	с	10^{-2}
эпса	Э	10^{18}	милли	м	10^{-3}
пэта	П	10^{15}	микро	мк	10^{-6}
тера	Т	10^{12}	нано	н	10^{-9}
гига	Г	10^9	пико	п	10^{-12}
мега	М	10^6	фемто	ф	10^{-15}
кило	к	10^3	атто	а	10^{-18}
гекто	г	10^2	зенто	з	10^{-21}
дека	да	10^1	йокто	и	10^{-24}

Примеры решения задач:

Задача 1. Рентгеновские лучи образуют в 1 см³ газа $12,5 \times 10^6$ пар ионов за 1 с. Между пластинами плоского конденсатора площадью по 100 см² при этих условиях ток насыщения 1×10^{-10} А. Каково расстояние между пластинами конденсатора?

Решение: Плотность тока насыщения в газе j_n определяется формулой $j_n = Nqd$ (1), где N — число пар ионов, созданных рентгеновскими лучами в единице объема в единицу времени, d — расстояние между пластинами. Сила тока J и плотность тока S связаны соотношением $J = IS$, тогда $j_n = In$ (2). S Приравняем правые части уравнений (1) и (2): $In = Nqd$, откуда $Sd = InSNq$ После вычислений $d = 1 \cdot 10^{-10} \text{ А} / (100 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 12,5 \cdot 10^{12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5 \text{ мм}$.

Ответ: расстояние между пластинами конденсатора равно 5 мм. **Примечание:** взят заряд однозарядного иона $e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл и в 1 м³ образуется $12,5 \times 10^{12}$ пар ионов за 1 с

Задача 2. Две одинаковые круглые пластины площадью $S = 400$ см² каждая расположены параллельно друг другу. Заряд одной пластины $Q_1 = 400$ нКл, другой — $Q_2 = 200$ нКл. Определить плотность энергии электрического поля в точках, расположенных: а) между пластинами, б) вне пластин.

Решение: Плотность энергии поля численно равна энергии поля в единице объема: $w = W = CU^2 = \epsilon_0 \epsilon S U^2 = \epsilon_0 \epsilon \frac{2}{V} \frac{2dSd}{2}$ Рассмотрим поле пластин конденсатора. Напряженность поля вне пластин: $E = E_+ + E_+ = \frac{\delta_+}{\epsilon_0} + \frac{\delta_+}{\epsilon_0} = \frac{1}{2\epsilon_0 S} (Q_1 + Q_2)$. Напряженность поля между пластин равна: $E = E_+ - E_+ = \frac{\delta_+}{\epsilon_0} - \frac{\delta_+}{\epsilon_0} = \frac{1}{2\epsilon_0 S} (Q_1 - Q_2)$. Слева и справа модуль результирующей напряженности одинаков. Плотность энергии электрического поля в точках, расположенных вне пластин: $w = \frac{1}{2} \epsilon_0 (Q_1 + Q_2)^2 = 3,18 \text{ Дж/м}^3 \cdot 8\epsilon_0 S$ между пластин: $w = \frac{1}{2} \epsilon_0 (Q_1 - Q_2)^2 = 0,353 \text{ Дж/м}^3 \cdot 8\epsilon_0 S$

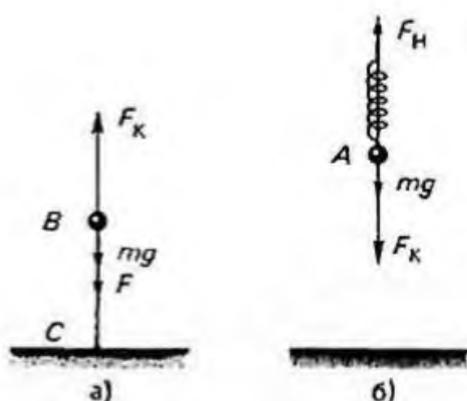
Ответ: $w = \frac{1}{2} \epsilon_0 (Q_1 - Q_2)^2 = 0,353 \text{ Дж/м}^3 \cdot 8\epsilon_0 S$.

Примечание: плотность энергии пропорциональна квадрату напряженности электрического поля в области пространства, что справедливо для электрических полей любой конфигурации, а не только для однородных полей, в том случае, если среда, заполняющая пространство изотропная.

Задача 3. Две частицы, имеющие массы 2 г и 3 г и одинаковые заряды 6 мкКл, приближаются друг к другу. В некоторый момент они находятся на расстоянии 30 м и имеют одинаковые скорости 3 м/с. Найдите наименьшее расстояние между частицами в процессе движения. Коэффициент в законе Кулона $k = 9 \times 10^9$ м/Ф.

Решение: В тот момент, когда расстояние между частицами достигает максимального значения r , их скорости имеют одинаковую величину u и одинаковое направление (относительная скорость равна нулю). Это состояние системы связано с начальными законами сохранения импульса $m_1v - m_2v = (m_1 + m_2)u$, и энергии: $m_1v^2/2 + m_2v^2/2 + kq^2/r_0 = (m_1 + m_2)u^2/2 + kq^2/r$. Решая совместно два уравнения относительно искомого расстояния, получаем $r = (1/r_0 + 2v^2 m_1 m_2 / [kq^2(m_1 + m_2)])^{-1} = 10$ м. Ответ: $r = 10$ м.

Задача 4. Два небольших шарика А и В, каждый массой $m = 0,1$ кг, имеют одинаковые по модулю и противоположные по знаку заряды $q = 10^{-6}$ Кл. Шарик А подвешен на изолирующей пружинке с жесткостью $k = 9,8$ Н/м над шариком В, как показано на рисунке. В начальном положении сила кулоновского взаимодействия между шариками равна $4mg$. Верхний конец пружинки начали медленно поднимать. На сколько сантиметров надо переместить точку О, чтобы натяжение изолирующей и нерастяжимой нити ВС обратилось в нуль?



Решение: На нижний шарик действуют три силы (рис. а):

сила тяжести mg , кулоновская сила $F = q^2/(4\pi\epsilon_0 r^2)$ и сила натяжения нити Т. В начальном моменте

$q^2/(4\pi\epsilon_0 r_1^2) = 4mg$ по условию, а в конечной $q^2/(4\pi\epsilon_0 r_2^2) = mg$. (так как натяжение нити ВС обратилось в нуль). Отсюда можно найти, насколько надо поднять точку А над точкой В:

$\Delta r = r_2 - r_1 = q/[4\sqrt{\pi\epsilon_0 mg}] \approx 0,5$ м. Теперь рассмотрим верхний шарик. На него действуют три силы (рис. б): сила тяжести mg , кулоновская сила F_k и сила натяжения пружины F_H . И в начальный, и в конечный моменты эти силы уравновешены (считаем, что перемещение верхнего шарика происходит равномерно): $F_{H1} = F_{k1} + mg$; $F_{H2} = F_{k2} + mg$, или $kx_1 = 4mg + mg$; $kx_2 = mg + mg$

(x_1 и x_2 – удлинения пружины в начальный и конечный моменты), откуда уменьшение длины пружины $\Delta x = x_1 - x_2 = 3mg/k = 0,3$ м. Следовательно, точку О надо переместить вверх на

$$h = \Delta r - \Delta x \approx 0,2 \text{ м} = 20 \text{ см.}$$

Ответ: $h = 20$ см

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в керосин плотностью $0,8$ г/см³. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и керосине был один и тот же? Диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2$. [$1,6$ г/см³]

Задача 2. На некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью $\sigma = 1,5$ нКл/см² расположена круглая пластинка. Плоскость пластинки составляет с линиями напряженности угол $\alpha = 45^\circ$. Определить поток

вектора напряженности через эту пластинку, если ее радиус $r=10$ см. [1,88 кВ/м]

Задача 3. Кольцо радиусом $r=10$ см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью $\lambda=10$ нКл/м. Определить напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца в точке А, удаленной на расстояние $a=20$ см от центра кольца. [1 кВ]

Задача 4. Шар радиусом $R=10$ см заряжен равномерно с объемной плотностью $\rho=5$ нКл/м³. Определить напряженность электростатического поля: 1) на расстоянии $r_1=2$ см от центра шара; 2) на расстоянии $r_2=12$ см от центра шара. Построить зависимость $E(r)$. [1) 3,77 В/м; 2) 13,1 В/м]

Задача 5. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью $\lambda=1$ нКл/см. Какую скорость приобретет электрон, при- близившись под действием поля к нити вдоль линии напряженности с расстояния $r_1=2,5$ см до $r_2=1,5$ см? [18 Мм/с]

Практическое занятие № 9

Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков

Цель работы:

- демонстрировать на примерах роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологий, в практической деятельности людей;
- демонстрировать на примерах взаимосвязь между физикой и другими естественными науками;
- использовать информацию физического содержания при решении учебных, практических, проектных и исследовательских задач, интегрируя информацию из различных источников и критически ее оценивая

Понятия: электрохимический эквивалент; виды газовых разрядов; плазма; электрический ток в полупроводниках; собственная и примесная проводимости; p-n переход.

Физические явления: электрический ток в металлах, в электролитах, газах, в вакууме: сверхпроводимость; электролиз; термоэлектронная эмиссия.

Закономерности: закон электролиза Фарадея.

Практическое применение полупроводников, дугового разряда.

Принципы действия приборов и устройств: полупроводникового диода; полупроводниковых приборов; вакуумного диода; газоразрядной трубки; сварочного аппарата

Качественные задачи:

1. Объясните, почему при дуговом разряде при увеличении силы тока напряжение уменьшается.

Ответ: при увеличении силы тока возрастает термоэлектронная эмиссия с катода, носителей заряда становится больше, а, следовательно, сопротивление промежутка между электродами уменьшается. При этом уменьшение сопротивления происходит быстрее, чем увеличение силы тока (в газах нарушается линейный закон Ома $U = IR$), поэтому напряжение уменьшается.

2 (ВПр). Вблизи заострённых частей проводников, подключённых к высоковольтным источникам тока или находящихся во влажном атмосферном воздухе во время грозы, можно наблюдать слабое свечение и небольшой шум. Такое свечение иногда появляется на концах корабельных мачт (так называемые огни святого Эльма). Благодаря какому физическому явлению возникает такое свечение?

Ответ: электрический разряд в газах или коронный разряд.

3 (ВПр). Прочитайте текст и вставьте на места пропусков слова (словосочетания) из приведённого списка.

В XVIII в. Бенджамин Франклин установил электрическую природу молнии, а также создал и разработал принципы элементарной грозозащиты (см. рис.). Он предложил устанавливать _____, который соединяли с землёй, размещая на высоких точках зданий. При этом основную роль играли явление _____ металлических частей конструкции и _____ электрического поля вблизи острия.

Список слов (словосочетаний)

- 1) громоотвод
- 2) изолятор
- 3) электризации
- 4) электромагнитной индукции
- 5) высокая напряжённость
- 6) короткая длина волны



4 (ВПр). Какими носителями электрического заряда создаётся ток в водном растворе поваренной соли?

Расчётные задачи:

1. Проводящая сфера радиусом $R = 5$ см помещена в электролитическую ванну, наполненную раствором медного купороса. Насколько увеличится масса сферы, если отложение меди длится $t = 30$ мин, а электрический заряд, поступающий на каждый квадратный сантиметр поверхности сферы за 1 с, $q = 0,01$ Кл? Молярная масса меди $M = 0,0635$ кг/моль. Площадь поверхности сферы $S = 4\pi R^2$.

Практическое занятие № 10

Параллельное и последовательное соединение проводников

Цель работы:

- использовать для описания характера протекания физических процессов физические законы (закон Ома для участка цепи; закон Ома для полной цепи; закон Джоуля—Ленца; законы Кирхгофа для узла и контура) с учетом границ их применимости;
- решать качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): используя модели, физические величины и законы, выстраивать логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);

Понятия: сила тока и плотность тока; электрическое сопротивление; электродвижущая сила источника тока; соединение проводников; электрические цепи; параллельное и последовательное соединение проводников; соединение источников электрической энергии в батарею; работа и мощность постоянного тока; тепловое действие тока; температурный коэффициент сопротивления; сверхпроводимость.

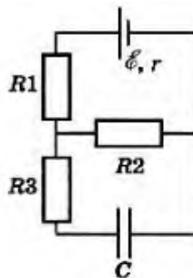
Закономерности: закон Ома для участка цепи; закон Ома для полной цепи; закон Джоуля—Ленца; условия, необходимые для возникновения и поддержания электрического тока; зависимость электрического сопротивления от материала, длины и площади поперечного сечения проводника; зависимость электрического сопротивления проводников от температуры; законы Кирхгофа для узла и контура

Решить задачи:

1 (ВПр). Проводник, состоящий из медной, железной и никелиновой проволок одного диаметра и одной длины, включили в электрическую цепь. При определённом напряжении, поданном на него, наблюдали, что никелиновая проволока сильно раскалена, железная раскалена гораздо меньше, а медная проволока не раскалена вовсе. Это объясняется тем, что проволоки соединены _____. При таком соединении на участках цепи сила тока одинаковая, а выделяющееся количество теплоты прямо пропорционально _____ проволок. Из опыта на основании закона Джоуля—Ленца можно сделать вывод, что у медной проволоки наименьшее _____, а у никелиновой наибольшее.

Список слов (словосочетаний)

- 1) последовательно
 - 2) параллельно
 - 3) сопротивлению
 - 4) напряжению
 - 5) удельное сопротивление
5. Конденсатор ёмкостью 2 мкФ включён в цепь (рис. 15.12), содержащую три резистора и источник постоянного тока с ЭДС 3,6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Сопротивления резисторов $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Чему равен заряд на правой обкладке конденсатора?



Возможное решение:

Участок цепи, в котором находится конденсатор, разомкнут, и ток через резистор R_3 не идёт. Разность потенциалов между пластинами конденсатора равна падению напряжения на резисторе R_2 : $U = IR^2$.

Сила тока, идущего по цепи, согласно закону Ома, равна

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + R_1 + r}$$

$$U = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + R_1 + r} R_2$$

Заряд на обкладках конденсатора

$$q = CU = C \frac{\mathcal{E}}{R_2 + R_1 + r} R_2 = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

На правой обкладке конденсатора накопится отрицательный заряд, так как она подключена к отрицательному полюсу источника.

Ответ: $4,2 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Графические задачи:

1 (ВПР). Учащиеся изучали протекание электрического тока в цепи, изображённой на схеме (рис. 1). Передвигая рычажок реостата, они следили за изменением силы тока и построили график зависимости силы тока от времени (рис. 2).

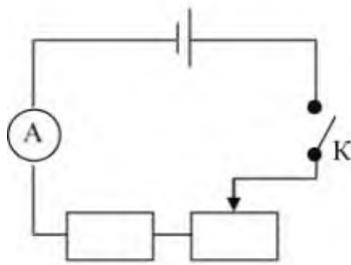


Рис. 1

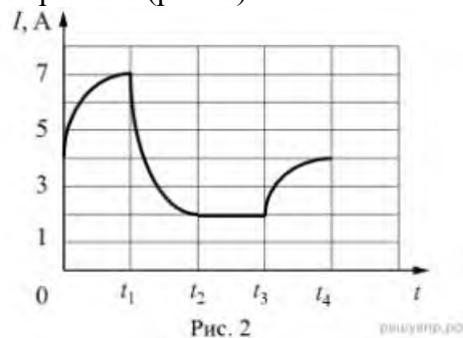


Рис. 2

Выберите два верных утверждения, соответствующих данным графика. Запишите в ответе их номера.

- 1) в процессе опыта сила тока в цепи изменялась в пределах от 2 до 7 А.
- 2) в промежутке времени от t_2 до t_3 сопротивление реостата увеличивалось.
- 3) в промежутке времени от 0 до t_1 рычажок реостата перемещали влево.
- 4) в промежутке времени от t_3 до t_4 рычажок реостата перемещали вправо.
- 5) в промежутке времени от t_1 до t_2 напряжение на резисторе увеличилось в 3 раза.

Ответ: 13.

Задачи на методы научного познания:

1 (ВПР). С помощью амперметра проводились измерения силы тока в электрической цепи. Погрешность измерений силы тока равна цене деления шкалы амперметра (см. рис.).



Запишите в ответ показания амперметра с учётом погрешности измерений. В ответе укажите значение и погрешность измерения слитно без пробела. Ответ приведите в амперах.

Возможное решение:

Заметим, что цена одного деления амперметра равна 1 А. Тогда измеренное значение можно записать как (3 ± 1) А или (2 ± 1) А.

Ответ: 31 или 21.

2 (ВПр). Запишите результат измерения электрического напряжения (см. рис.), учитывая, что погрешность измерения равна цене деления вольтметра.



Запишите в ответ показания вольтметра с учётом погрешности измерений. В ответе укажите значение и погрешность измерения слитно без пробела.

Возможное решение:

Заметим, что клеммы вольтметра подключены так, что наибольшее показываемое напряжение равно 3 В, то есть считывать показания нужно по нижней шкале вольтметра. Как видно из рисунка, вольтметр показывает значение 1,4 В, при этом цена деления составляет 0,1 В. Таким образом, показания вольтметра можно записать как $(1,4 \pm 0,1)$ В.

Ответ: 1,40,1.

Практическое занятие № 11

Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля тока

Цель работы:

- демонстрировать на примерах открытия ЭМИ и самоиндукции роль и место физики в формировании современной научной картины мира, в развитии современной техники и технологий, в практической деятельности людей;

- использовать для описания характера протекания физических процессов физические величины и демонстрировать взаимосвязь между ними (ЭДС индукции в движущихся проводниках, связь магнитного потока и индуктивности катушки с током, энергия магнитного поля катушки с током);

- использовать для описания характера протекания физических процессов физические законы с учетом границ их применимости (закон ЭМИ, правило Ленца);

- решать качественные задачи;

Понятия: магнитный поток, электромагнитная индукция (далее – ЭМИ), вихревое электрическое поле, самоиндукция, индуктивность, электромагнитное поле

Закономерности: определение магнитного потока, правило Ленца, закон ЭМИ, ЭДС индукции в движущихся проводниках, связь магнитного потока и индуктивности катушки с током, закон ЭМИ для самоиндукции, энергия магнитного поля катушки с током.

Физические опыты: по наблюдению ЭМИ, самоиндукции

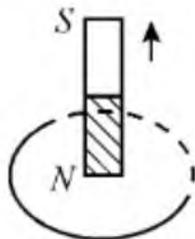
Качественные задачи:

1. На рисунке показаны два способа вращения плоской рамки в однородном магнитном поле.

Будет ли возникать индукционный ток в рамке на рисунке 1? Будет ли возникать индукционный ток в рамке на рисунке 2?

Ответ: ЭМИ возникает только в рамке на рисунке 1.

2. Постоянный магнит перемещают относительно замкнутого проводящего кольца так, как показано на рисунке.



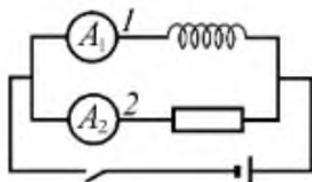
Определите направление индукционного тока в кольце.

Ответ: по часовой стрелке

3. В однородном магнитном поле движется проводник так, что скорость его движения перпендикулярна силовым линиям магнитного поля. Скорость проводника увеличивают в 9 раз по сравнению с первоначальной. Как и во сколько раз изменится модуль напряжения, возникающего на концах проводника?

Ответ: увеличится в 9 раз.

4. Электрическая цепь собрана по схеме, представленной на рисунке.



Сопротивление участка цепи 1 равно сопротивлению участка цепи 2. Сравните токи,

которые покажут амперметры A_1 и A_2 сразу после замыкания ключа.

Ответ: амперметр A_1 покажет меньший ток.

Расчётные задачи:

1. В однородном магнитном поле расположена проволочная рамка в форме прямоугольника со сторонами 4 см и 5 см. Модуль вектора индукции магнитного поля равен 20 мТл. Рамка расположена так, что силовые линии магнитного поля перпендикулярны её плоскости. Чему равен магнитный поток через рамку?

Ответ: 40 мкВб

2. Магнитный поток через рамку меняется от 40 мВб до 10 мВб за 0,15 с. Чему равна ЭДС индукции, возникающая в рамке?

Ответ: 0,2 В

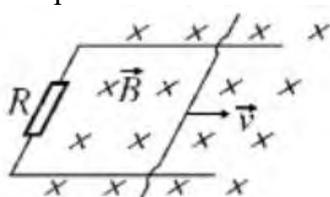
3. Проволочная рамка сопротивлением 0,1 Ом расположена в однородном магнитном поле, модуль вектора магнитной индукции которого уменьшается со скоростью 0,2 Тл/с. Площадь рамки равна 0,05 м². Линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости рамки. Определите ЭДС индукции, возникающей в рамке и силу индукционного тока.

Ответ: 10⁻² В; 0,1 А.

4. Определите скорость самолёта Сухой Суперджет-100, если на концах его крыльев длиной 27,8 м возникает ЭДС индукции 33 В. Самолёт летит горизонтально. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли 5 мТл.

Ответ: 237 м/с

5. По горизонтальным рельсам, расположенным в вертикальном магнитном поле с модулем вектора магнитной индукции 200 мкТл, скользит проводник длиной 0,2 м. Концы рельсов замкнуты на резистор сопротивлением 0,1 Ом. Скорость движения проводника постоянна и равна 5 м/с.



Чему равна сила тока, протекающего через резистор?

Ответ: 2·10⁻³ А

6. При пропускании через катушку тока силой 3 А магнитный поток внутри неё составил 15 мВб. Определите индуктивность катушки.

Ответ: 5 мГн.

7. В катушке индуктивностью 0,5 мГн за 2 с сила тока уменьшается от 15 до 5 А. Чему равна ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке?

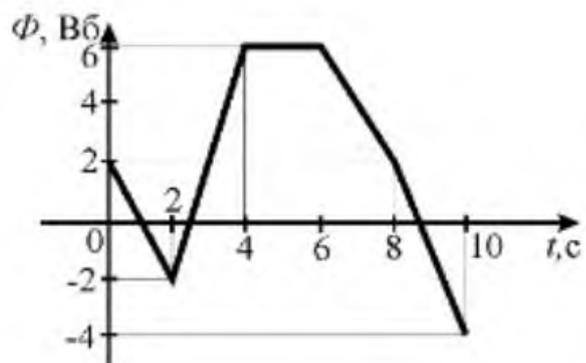
Ответ: 2,5 мВ.

8. При прохождении тока через катушку индуктивностью 200 мкГн энергия магнитного поля катушки составила 2,5 мДж. Определите силу тока в катушке.

Ответ: 5 А.

Графические задачи:

1. Магнитный поток в металлическом кольце меняется по графику:



Определите модуль ЭДС индукции, возникающей в кольце в промежутках времени:

1) (0; 2) с

2) (2; 4) с

3) (4; 6) с

Ответ: 1) 2 В; 2) 4 В; 3) 0

Практическое занятие № 12 Применение электромагнитных волн

Цель работы: проводить исследования зависимостей между физическими величинами: силы тока от электрического напряжения и сопротивления (активного, емкостного, индуктивного); длины волны от частоты; периода колебаний от индуктивности и емкости колебательного контура – и делать вывод с учетом погрешности измерений;

- решать качественные задачи (в том числе и межпредметного характера): используя модели, физические величины и законы, выстраивать логически верную цепочку объяснения (доказательства) предложенного в задаче процесса (явления);

- решать задачи на расчет основных характеристик колебательного и волнового движений; на закон Ома для электрической цепи переменного тока; на формулу Томсона.

индуктивное сопротивление переменного тока; активное сопротивление; работа и мощность переменного тока; резонанс в электрической цепи; токи высокой частоты; электромагнитное поле как особый вид материи; электромагнитные волны; вибратор Герца; открытый колебательный контур; понятие о радиосвязи; телевидение.

Физические явления: свободные электромагнитные колебания; затухающие электромагнитные колебания; вынужденные электрические колебания; переменный ток; принципы радиосвязи.

Закономерности: превращение энергии в колебательном контуре; формула Томсона; закон Ома для электрической цепи переменного тока; свойства электромагнитных волн.

Практическое применение электромагнитных волн; получение, передача и распределение электроэнергии; изобретение радио А.С. Поповым.

Принципы действия приборов и устройств: генератора незатухающих электромагнитных колебаний; генератора переменного тока; трансформатора; радиоприёмника.

Качественные задачи:

1 (ВПр). Вставьте пропущенное слово в текст.

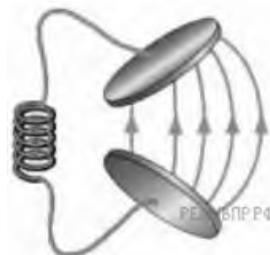
«Радиосвязь между радиолюбителями, находящимися на противоположных сторонах Земли, осуществляется на коротких волнах. Это возможно благодаря тому, что _____ отражает короткие радиоволны».

Ответ: ионосфера Земли.

2 (ВПр). В колебательном контуре раздвинули пластины конденсатора.

Как при этом изменятся частота и период собственных колебаний электрического заряда в контуре? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится;
- 2) уменьшится;
- 3) не изменится.



Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота колебаний заряда	Период колебаний заряда

Ответ: 12

Расчётные задачи:

1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $0,02$ мкГн и конденсатора ёмкостью 32 мкФ. Определите период собственных электромагнитных колебаний, возникающих в контуре.

2. Максимальный заряд на обкладках конденсатора колебательного контура $q_m = 10^{-6}$ Кл. Амплитудное значение силы тока в контуре $I_m = 10^{-3}$ А. Определите период колебаний. (Потери на нагревание проводников можно пренебречь.)

Ответ: $6,3 \cdot 10^{-3}$ с.

3. Рамка площадью $S = 3000$ см² имеет $N = 200$ витков и вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,5 \cdot 10^{-2}$ Тл. Максимальная ЭДС в рамке $\mathcal{E}_m = 1,5$ В. Определите время одного оборота.

Ответ: 3,8 с.

4. В цепь переменного тока с частотой $\nu = 500$ Гц включена катушка индуктивностью $L = 10$ мГн. Определите ёмкость конденсатора, который надо включить в эту цепь, чтобы наступил резонанс.

Ответ: 10 мкФ.

5. Радиостанция ведёт вещание на несущей частоте 150 МГц. Определите длину волны, на которой вещает радиостанция.

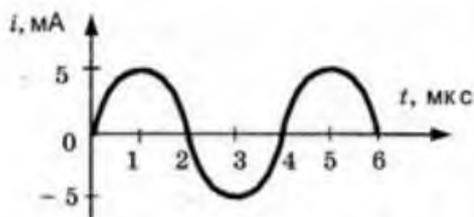
Ответ: 2 м.

6. Определить длину электромагнитных волн в воздухе, излучаемых колебательным контуром с ёмкостью 3 нФ и индуктивностью 0,012 Гн. Активное сопротивление контура принять равным нулю.

Ответ: 11304 м.

Графические задачи:

1. На рисунке приведен график изменения силы тока со временем. Определить период колебаний и амплитуду силы тока. Записать уравнение колебаний силы тока.



Ответ: 4 мкс, 5 мА, $i = 5 \cdot 10^{-3} \sin 500000\pi t$.

Задачи на методы научного познания:

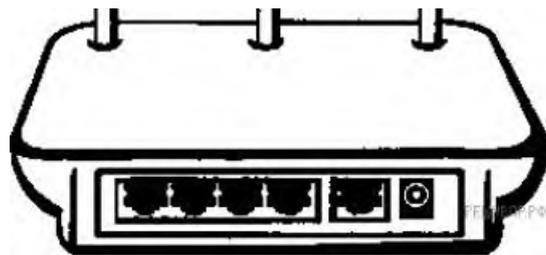
1 (ВПр). В 1896 г. А. С. Поповым была передана первая телеграмма с использованием электромагнитных волн. Им был изобретён первый _____ . В декабре 1901 г. Маркони передал сигнал через Атлантический океан. По сути, он поставил в повестку дня задачу исследовать распространение радиоволн вокруг Земли. В первых «трансатлантических» опытах он нашёл, что можно передавать сообщения на значительные расстояния не только с помощью _____ (с длиной волны около 8 км), которые вследствие _____ огибают Землю, но и с помощью волн с длиной волны около 300 м, которые, как мы сегодня знаем, способны отражаться от ионосферы Земли.

Список слов (словосочетаний)

- 1) беспроводный телеграф
- 2) аппарат Морзе
- 3) длинных радиоволн
- 4) коротких радиоволн
- 5) явления дифракции
- 6) явления дисперсии

Ответ: 135.

2 (ВПР). Роутер (маршрутизатор)



Для работы мобильной связи, модемов, спутниковых систем и многих других устройств используются беспроводные технологии. Одним из примеров использования беспроводных технологий является Wi-Fi. Обязательным условием беспроводной связи устройства с сетью Интернет является наличие точки доступа — роутера или маршрутизатора. Связь между точкой доступа (роутером) и устройством осуществляется с помощью электромагнитного излучения определённого диапазона, которое излучается роутером, распространяется в воздухе со скоростью света и принимается устройством (например, ноутбуком). Каждый роутер работает в определённом диапазоне частот, в котором выделяется центральная частота. На сегодняшний день стандарты Wi-Fi сети поддерживаются двумя центральными частотами: 2,4 ГГц и 5 ГГц (ГГц — гигагерц — 10^9 Гц). Наиболее часто встречающаяся рабочая центральная частота — это 2,4 ГГц.

1. Какое физическое явление лежит в основе работы роутера (маршрутизатора)?
2. Выберите из предложенного перечня два верных утверждения, которые определяют преимущества беспроводной связи перед проводной, и запишите номера, под которыми они указаны.

- 1) Небольшие задержки во время соединения.
- 2) Подключение нескольких устройств одновременно.
- 3) Ограниченное расстояние между точками связи устройств.
- 4) В диапазоне 2,4 ГГц работает множество устройств (например, Bluetooth, микроволновые печи).

5) Излучение от Wi-Fi-устройств в момент передачи данных в несколько раз меньше, чем у сотового телефона.

Практическое занятие № 13 Линзы. Построение изображения в линзах

Цель работы: дать понятие об отражении, преломлении света; изучить зависимость угла преломления светового пучка от угла его падения на границу раздела двух сред; объяснить физический смысл показателя преломления света; сформировать умение использовать законы отражения и преломления света для объяснения простейших оптических явлений; ознакомить с явлением полного отражения света и его практическим применением.

Законы отражения света.

Первый закон отражения: лучи, падающий и отраженный, лежат в одной плоскости с перпендикуляром к отражающей поверхности, восстановленным в точке падения луча. Второй закон отражения: угол падения равен углу отражения (см. рис. 8). α — угол падения, β — угол отражения.

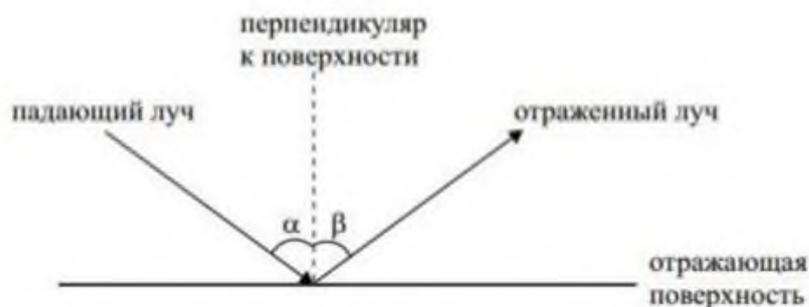


Рис. 8.

Показатель преломления. Первый закон преломления: падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения к границе раздела, лежат в одной плоскости (см. рис. 9).

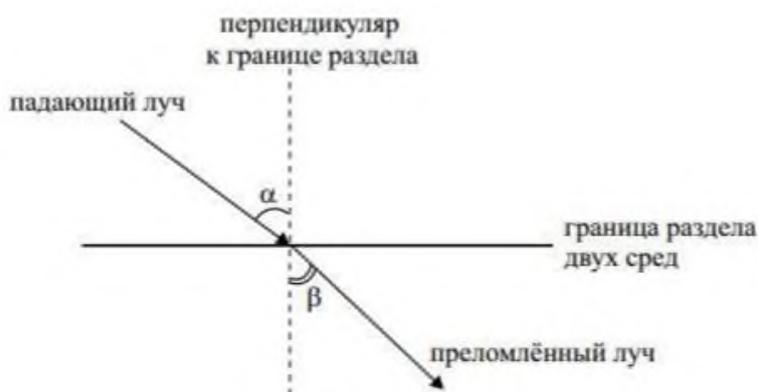
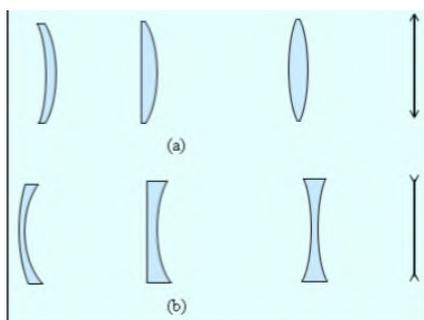


Рис. 9.

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны



сферических поверхностей, то линзу называют тонкой. Линзы входят в состав практически всех оптических приборов. Линзы бывают собирающими и рассеивающими. Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше

Прямая, проходящая через центры кривизны O_1 и O_2 сферических поверхностей, называется главной оптической осью линзы. В случае тонких линз можно приближенно считать, что главная оптическая ось пересекается с линзой в одной точке, которую принято называть оптическим центром линзы O . Луч света проходит через оптический центр линзы, не отклоняясь от первоначального направления. Все прямые, проходящие через оптический центр, называются побочными оптическими осями. Если на линзу направить пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после прохождения через линзу лучи (или их продолжения) соберутся в одной точке F , которая называется главным фокусом линз.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте закон прямолинейного распространения света. Объясните на основе этого закона солнечные и лунные затмения.

2. Что такое угол падения луча? Угол отражения? Угол преломления? Сформулируйте законы отражения и преломления света. Что такое показатель преломления?

3. Как построить изображение в зеркале? Какое это изображение – действительное или мнимое?

4. В чем состоит явление полного внутреннего отражения?

5. Как объясняются законы отражения и преломления с помощью принципа Гюйгенса?

6. Какие линзы называют собирающими, а какие рассеивающими? Что такое главная оптическая ось, главный фокус линзы и побочный? Как построить изображение в линзах? Как построить изображение точки, лежащей на главной оптической оси? В каком случае возникает действительное увеличенное изображение предмета? Действительное уменьшенное? Мнимое увеличенное изображение? Мнимое уменьшенное изображение?

7. Записать формулу тонкой линзы, пояснить смысл входящих величин и правило знаков. Что такое оптическая сила линзы? Что такое увеличение и как его определить?

8. Какие оптические приборы Вы знаете? Поясните принципы их действия.

9. Строение и работа глаза. Что такое близорукость и дальнозоркость? Что такое расстояние наилучшего зрения?

Алгоритм решения задач

1. Повторите теоретический материал

2. Обратите внимание на начало отсчета и правило знаков: радиус кривизны для выпуклой поверхности положителен, для вогнутой – отрицателен; отсчет X и H ведется от первой поверхности системы и положительное значение X и $H > 0$ отсчитывается вправо, отрицательное – влево от вершины первой поверхности; X и H' отсчитываются от последней поверхности системы. Фокусные расстояния отсчитываются от главных плоскостей.

3. Выпишите основные формулы.

4. Прежде чем решать задачу, проанализируйте ее. Сделайте рисунок, соответствующий условию задачи.

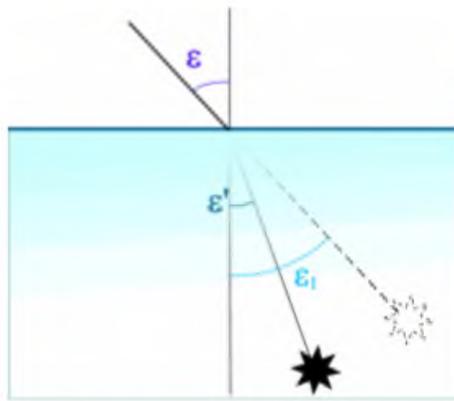
5. Нанесите на оптическую схему все найденные ранее неизвестные значения.

6. Сделайте вывод из решения задачи.

Примеры решения задач

Задача 1. Объект находящийся в воде, виден под углом 60° . Определить угол наклона преломленного луча в воде, если показатель преломления $n=1.33$.

Решение:



Угол, под которым виден объект - это угол мнимый, а реально это угол, под которым мы смотрим на объект. Таким образом, нам даны ε_1 и n .

По закону преломления $n \cdot \sin \varepsilon = n' \cdot \sin \varepsilon'$

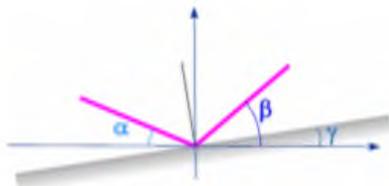
$$\sin(\varepsilon') = \sin(\varepsilon) / n'$$

$$\sin(\varepsilon') = \sin(60^\circ) / 1.33 = 0.709$$

Преломленный угол ε' равен $40^\circ 30'$

Ответ: Угол $\varepsilon' = 40^\circ 30'$

Задача 2. Определить угол поворота плоского зеркала γ относительно оси ОХ, если направление падающего луча задано углом $\alpha = 10^\circ$, а направление отраженного луча $\beta = 80^\circ$.



Решение:

Угол падения равен углу отражения. Если угол отражения не равен углу падения, значит, зеркало повернуто. Разница между углами составляет 70° . Как известно, угол поворота луча в два раза больше угла поворота зеркала.

В нашем случае угол поворота луча составляет 70° . Это означает, что $\gamma = 35^\circ$.

Ответ: $\gamma = 35^\circ$

Задача 3. Определить угол полного внутреннего отражения на границе раздела сред стекло-воздух.

Решение: воздух; ; - угол полного внутреннего отражения.

Ответ: Полное внутреннее отражение будет наступать при углах, больших чем.

При превышении угла полного внутреннего отражения, как видно из рисунка, производится отражение луча от границы раздела по закону отражения.

Задача 4. Двояковыпуклая линза с радиусом кривизны поверхностей см и показателем преломления материала линзы дает изображение предмета с линейным увеличением. Найти расстояния и предмета и изображения от линзы. Сделать чертеж.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Оптическая сила хрусталика для человека с нормальным зрением равна 25 дптр. Показатель преломления 1,4. Вычислить радиусы кривизны хрусталика, если известно, что один радиус кривизны в 2 раза больше другого.

Задача 2. Фокусные расстояния трех линз соответственно равны 1,25 м; 0,5 м; 0,04

м. Какова оптическая сила каждой линзы? Отв: 0,8 дптр, 2дптр, 25дптр

Задача 3. Предмет находится от плоского зеркала на расстоянии 20 см. На каком расстоянии от предмета окажется его изображение, если предмет отодвинуть на 10 см от зеркала?

Задача 4. На стеклянную пластинку, показатель преломления которой 1,5, падает луч света. Найти угол падения луча, если угол между отраженным и преломленным лучами 90° .

Задача 5. Абсолютные показатели преломления алмаза и стекла соответственно равны 2,42 и 1,5. Каково отношение толщин этих веществ, если время распространения света в них одинаково?

Практическое занятие № 14 Применение фотоэффекта

Цель работы: научить обучающихся применять теоретические знания при решении задач.

Основные теоретические положения

Гипотеза Планка, блестяще решившая задачу теплового излучения черного тела, получила подтверждение и дальнейшее развитие при объяснении фотоэффекта — явления, открытие и исследование которого сыграло важную роль в становлении квантовой теории. Различают фотоэффект внешний, внутренний и вентильный.

На рис. 36 приведена экспериментальная установка для исследования вольт-амперной характеристики фотоэффекта — зависимости фототока I , образуемого потоком электронов, испускаемых катодом под действием света, от напряжения U между электродами. Такая зависимость, соответствующая двум различным освещенностям E_e катода (частота света в обоих случаях одинакова), приведена на рис. 43. По мере увеличения U фототок постепенно возрастает, т. е. все большее число фотоэлектронов достигает анода. Пологий характер кривых показывает, что электроны вылетают из катода с различными скоростями. Максимальное значение тока $I_{\text{нас}}$ — фототок насыщения — определяется таким значением U , при котором все электроны, испускаемые катодом, достигают анода:

$I_{\text{нас}} = e n$, где n — число электронов, испускаемых катодом в 1 с.

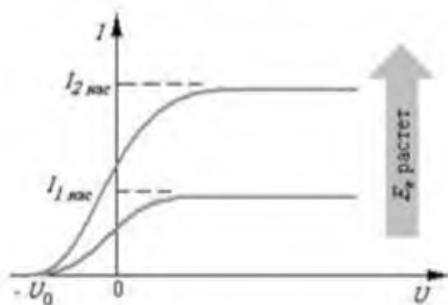


Рис. 43

Из вольт-амперной характеристики следует, что при $U = 0$ фототок не исчезает. Следовательно, электроны, выбитые светом из катода,

обладают некоторой начальной скоростью v , а значит, и отличной от нуля кинетической энергией и могут достигнуть анода без внешнего поля. Для того чтобы фототок стал равным нулю, необходимо приложить задерживающее напряжение U_0 . При $U = U_0$ ни один из электронов, даже обладающий при вылете из катода максимальной скоростью v_{max} , не может преодолеть задерживающего поля и достигнуть анода. Следовательно, $m v_{2 \text{ max}} / 2 = e U_0$,

т. е., измерив задерживающее напряжение U_0 , можно определить максимальные значения скорости и кинетической энергии фотоэлектронов.

При изучении вольт-амперных характеристик разнообразных материалов (важна чистота поверхности, поэтому измерения проводятся в вакууме и на свежих поверхностях) при различных частотах падающего на катод излучения и различных энергетических освещенностях катода и обобщения полученных данных были установлены следующие три закона внешнего фотоэффекта.

I. Закон Столетова: при фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, вырываемых из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света (сила фототока насыщения пропорциональна энергетической освещенности E_e катода).

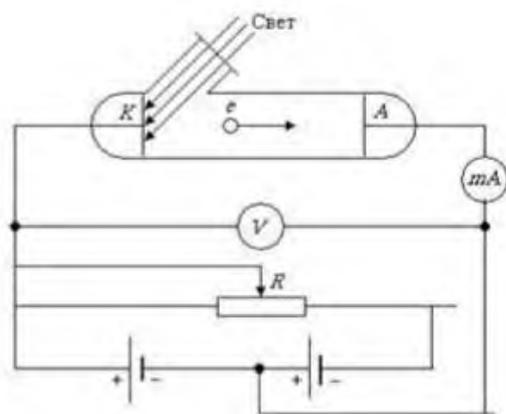
II. Максимальная начальная скорость (максимальная начальная кинетическая энергия) фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется

только его частотой ν , а именно линейно возрастает с увеличением частоты.

III. Для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т. е. минимальная частота ν_0 света (зависящая от химической природы вещества и состояния его поверхности), при которой свет любой интенсивности фотоэффекта не вызывает.

Качественное объяснение фотоэффекта с волновой точки зрения на первый взгляд не должно было бы представлять трудностей. Действительно, под действием поля световой волны в металле возникают вынужденные колебания электронов, амплитуда которых (например, при резонансе) может быть достаточной для того, чтобы электроны покинули металл; тогда и наблюдается фотоэффект. Кинетическая энергия, с которой электрон вырывается из металла, должна была бы зависеть от интенсивности падающего света, так как с увеличением последней электрону передавалась бы большая энергия. Однако этот вывод противоречит II закону фотоэффекта. Так как, по волновой теории,

энергия, передаваемая электронам, пропорциональна интенсивности света, то свет любой частоты, но достаточно большой интенсивности должен был бы вырывать электроны из металла; иными словами, «красной границы» фотоэффекта не должно быть, что противоречит III закону фотоэффекта. Кроме того, волновая теория не смогла объяснить безынерционность фотоэффекта, установленную опытами. Таким образом, фотоэффект необъясним с точки зрения волновой теории света.



Внутренний фотоэффект— это вызванные электромагнитным излучением переходы электронов внутри полупроводника или диэлектрика из связанных состояний в свободные без вылета наружу. В результате концентрация носителей тока внутри тела увеличивается, что приводит к возникновению фотопроводимости (повышению электропроводности полупроводника или диэлектрика при его освещении) или к возникновению э. д. с.

Вентильный фотоэффект— возникновение э. д. с. (фото-э. д. с.) при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла (при отсутствии внешнего электрического поля). Вентильный фотоэффект открывает, таким образом, пути для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные положения квантовой теории света?
2. Почему световые кванты (фотоны) оказывают давление на поверхность тел?
3. Чем различаются внешний и внутренний фотоэффекты?
4. Что означает красная граница внешнего фотоэффекта?
5. Какое условие необходимо для возникновения внешнего фотоэффекта?
6. Запишите уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
7. Как с помощью уравнения Эйнштейна объяснить I и II законы фотоэффекта?
8. От чего зависит скорость вылетающих электронов при внешнем фотоэффекте?
9. Объясните законы фотоэффекта с помощью световых квантов.
10. Приведите примеры применения фотоэффекта.
11. Зависит ли фототок от поляризации падающего света?

12. Почему выход фотоэлектронов при возникновении фотоэффекта не зависит от освещенности металла?
13. Почему в объяснении фотоэффекта существование пороговой частоты говорит в пользу фотонной теории, а не волновой?
14. В чем заключается эффект Комптона?
15. Поясните значение эффекта Комптона.
16. В чем отличие характера взаимодействия фотона и электрона при фотоэффекте и эффекте Комптона?
17. В чем состоит корпускулярно-волновой дуализм свойств света?
18. Какие экспериментальные подтверждения квантовых свойств света вы знаете?
19. Можно ли с помощью одного и того же измерительного прибора регистрировать и волновые, и квантовые свойства света?
20. Есть ли противоречия между волновой и квантовой теориями света?

Алгоритм решения задач

1. Фотоэффект описывается уравнением Эйнштейна: в котором $h\nu$ - энергия светового кванта (фотона),
 - A - работа выхода электрона из металла,
 - mv^2 - кинетическая энергия фотоэлектрона.
2. Нахождение энергии фотона.
 - 2.1. Если в задаче приводится значение длины волны, используйте формулу связи длины волны и скорости её распространения с частотой.
 - 2.2. Энергию одного фотона можно найти, зная энергию излучения: где N – число фотонов.
 - 2.3. Энергия фотона связана с собственными характеристиками фотона как световой частицы. Формула связи импульса и энергии фотона:
3. Нахождение работы выхода электрона из металла. Значение работы выхода электрона может быть определено:
 - 3.1. с помощью справочной таблицы «Работа выхода электрона из металла», если известен металл и нет усложняющих нахождение работы выхода величин.
 - 3.2. через значение красной границы фотоэффекта для данного металла в данном состоянии.
4. Поведение фотоэлектрона после вылета из металла может быть описано из следующих соображений:
 - 4.1. В задерживающем однородном электрическом поле, согласно теореме о кинетической энергии, изменение кинетической энергии фотоэлектрона равно работе сил поля.
 - 4.2. Следует помнить, что движение фотоэлектронов вдоль силовых линий однородного электрического поля – движение с постоянным ускорением.
 - 4.3. Если фотоэлектроны попадают в однородное магнитное поле, то в зависимости от угла α между вектором скорости и вектором магнитной индукции они движутся прямолинейно ($\alpha = 0^\circ, \alpha = 180^\circ$), по окружности ($\alpha = 90^\circ$) или по спирали ($90^\circ > \alpha > 0^\circ$).

Примеры решения задач

Задача 1. Красная граница фотоэффекта для цинка лежит при длине волны 290 нм. Какая часть энергии фотона, вызывающего фотоэффект, расходуется на работу выхода, если максимальная скорость электронов, вырванных с поверхности металла, составляет 10^6 м/с

Решение:

Полная энергия фотона равна

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda_k} + \frac{1}{2} m_e v^2$$

где λ_k – красная граница фотоэффекта в м, m_e – масса электрона в кг, v – скорость электрона в м/с.

Ну и искомая часть энергии равна

$$n = \frac{\frac{h \cdot c}{\lambda_k}}{\frac{h \cdot c}{\lambda_k} + \frac{1}{2} m_e v^2}$$

значение постоянной планка, скорости света и массы электрона

табличные величины, остальное дано, осталось только подставить и подсчитать

Задача 2. Когда длину волны излучения, падающего на катод фотоэлемента, уменьшили от $\lambda_1 = 500$ нм до $\lambda_2 = 400$ нм максимальная скорость фотоэлектронов увеличилась в 2 раза. Определите красную границу фотоэффекта λ_{max} для этого катода.

Решение: После изменения длины волны излучения максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов увеличилась в 4 раза. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

Исключая из этих уравнений E_{k1} , найдем

Поскольку получаем Проверив единицы величин и подставив числовые значения, находим красную границу фотоэффекта: 545 нм.

Задача 3. На зеркальную поверхность нормально падает монохромный свет с длиной волны 0,55 мкм, производя давление 9 мкПа. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности и число фотонов, падающих на площадь 1 м² за 1 с. Дано: $\lambda = 0,55$ мкм; $P = 9 \cdot 10^{-6}$ Па. Найти: n_0 , N Решение: Давление света при нормальном падении на поверхность определяется по формуле:

где E_c – энергетическая освещенность поверхности, т.е. энергия всех фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени, c – скорость света в вакууме, w – объемная плотность энергии излучения, ρ – коэффициент отражения поверхности, который в данном случае равен 1. Объемная плотность энергии равна произведению энергии одного фотона на число фотонов в единице объема, где h – постоянная Планка. Подставляя (2) в (1), получим откуда. Проводим вычисления. Энергетическая освещенность поверхности E_c есть по определению энергия всех фотонов, которые падают на единицу поверхности в единицу времени. Следовательно, откуда

Выразив E_c из (1) и подставив в (5), получим. Сравнивая (6) и (4), получаем $N = n_0 c$ Подставляя числовые значения в полученную формулу, имеем $N = 1,25 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 3,75 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ Ответ: $n_0 = 1,25 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}$; $N = 3,75 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Калий освещается монохроматическим светом с длиной волны 400 нм. Определить наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится. Работа выхода электронов из калия равна 2,2 эВ. (Ответ: 0,91 В).

Задача 2. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 500 нм. Определить: 1) работу выхода электронов из этого металла; 2) максимальную скорость электронов, вырывааемых из этого металла светом с длиной волны 400 нм. (Ответ: 1) 2,48 эВ; 2) 468 км/с).

Задача 3. Выбиваемые светом при фотоэффекте электроны при облучении фотокатода видимым светом полностью задерживаются обратным напряжением $U_0 = 1,2$ В. Специальные измерения показали, что длина волны падающего света $\lambda = 400$ нм. Определить красную границу фотоэффекта. (Ответ: 652 нм).

Задача 4. Задерживающее напряжение для платиновой пластинки (работа выхода 6,3 эВ) составляет 3,7 В. При тех же условиях для другой пластинки задерживающее напряжение равно 5,3 В. Определить работу выхода электронов из этой пластинки. (Ответ: 4,7 эВ).

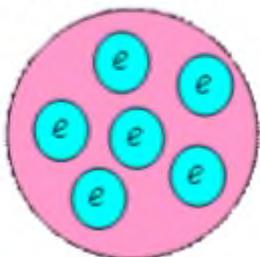
Практическое занятие № 15 Строение атома. Постулаты Бора

Цель работы: познакомить учащихся с историей развития взглядов о строении атома; применять полученные знания при решении задач.

Основные теоретические положения

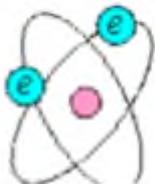
Планетарная модель атома Резерфорда Все вещество состоит из элементарных частиц. Но вещество не состоит из элементарных частиц непосредственно. Кирпичиками или элементами, из которых построено все вещество являются атомы. До 1912 г. ученые представляли атом в виде положительно заряженного шара, внутри которого находятся отрицательно заряженные электроны. Конструкция похожая на кекс с изюминками-электронами была предложена однофамильцами Томсонами – Джозефом Джоном и Уильямом лордом Кельвином.

Атом Томсона



В целом положительные и отрицательные заряды в таком атоме скомпенсированы и атом электрически нейтрален. Предполагалось, что вся масса атома сконцентрирована в электронах. Поскольку электрон намного легче атома, то даже самые простые атомы должны содержать тысячи электронов. В 1909 г. Резерфорд поручил молодому тогда еще физику Марсдену исследовать рассеяние альфа лучей при прохождении их через тонкие металлические пластинки. Большинство элементарных частиц испытывали незначительные отклонения после прохождения через пластинки. Однако Марсдену удалось обнаружить и очень сильно отклонившиеся частицы. Их, правда, было очень мало, но удивительно было то, что они вообще были. Конечно, Марсдену могло это показаться. Для регистрации альфа частиц использовался спинтарископ – небольшой прозрачный экран, покрытый специальным флуоресцирующим веществом. Когда элементарная частица попадает в такой экран, возникает слабая вспышка. Вспышка очень маленькая и слабая. Ее наблюдают под микроскопом. Чтобы глаз мог ее заметить, человек должен привыкнуть к темноте. Для этого он, прежде чем начать работать, то есть регистрировать и считать вспышки, должен полчаса посидеть в полной темноте. Вполне естественно поэтому предположить, что Марсден мог ошибиться. Резерфорд просит Марсдена повторить опыты, но на этот раз специально следить за частицами, получившими большое отклонение вплоть до 90°. Когда через несколько дней Марсден вошел в кабинет Резерфорда и сказал "есть такие частицы", Резерфорд от удивления выронил трубку. Резерфорд, хотя и предложил Марсдену провести эти опыты, сам не ожидал такого результата. Резерфорд потом вспоминал: "это было самым невероятным событием моей жизни. Это было почти столь же невероятно, как если бы выстрелили 15-дюймовым снарядом в кусок тонкой бумаги, а снаряд возвратился к вам и нанес вам удар". Опыты снова были перепроверены, но на этот раз к экспериментам подключился Гейгер. Явление было экспериментально изучено и материалы экспериментов опубликованы в том же году. Однако смысл результатов был загадочным. Не мог атом Томсона задержать, летящую с большой скоростью альфа-частицу. В 1911 г. Резерфорд публикует свою статью "Рассеивание альфа- и бета-частиц веществом и структура атома", в которой предлагает свою знаменитую планетарную модель атома.

Атом Резерфорда

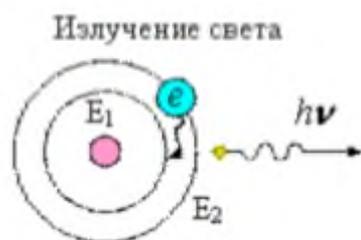


Маленькое очень массивное положительно заряженное ядро, от которого как раз и отскакивали альфа-частица в описанных опытах, расположено в центре атома Резерфорда. Вокруг ядра вращаются легкие отрицательно заряженные электроны. Большую часть пространства внутри атома заполняет пустота. В целом модель очень похожа на нашу Солнечную систему. К великому сожалению Резерфорда, статья была встречена молчанием. Резерфорд, конечно понимал почему. Его атом был недолговечен. Электрон, вращаясь вокруг ядра, должен излучать электромагнитные волны и терять вследствие этого энергию. При этом скорость его должна была бы замедлиться, и он должен был бы упасть на ядро. Однако опыт свидетельствует, что практически все атомы в природе устойчивы. Выправил ситуацию Нильс Бор.

Постулаты Бора

1. Электроны движутся в атоме по стационарным орбитам, при этом они не излучают и не поглощают энергии.

2. Стационарными орбитами будут те, для которых момент количества движения электрона mvr равен целому кратному h , где $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ 3. При переходе с одной орбиты на другую электрон излучает или поглощает энергию в виде фотона. Находясь на более далеких орбитах, электрон обладает большей энергией, поэтому, переходя на орбиту ближе к ядру, он излучает один фотон с энергией



Размеры атома водорода Электрон, вращаясь вокруг ядра, испытывает к нему силу кулоновского притяжения:

, где e – заряд атомного ядра с порядковым номером Z .

Эта сила в соответствии со вторым законом Ньютона должна

равняться $ma = m \frac{v^2}{r}$,

следовательно: $ma = m \frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Zee}{r^2}$

или $mv^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$.

Второй постулат Бора говорит нам о том, что радиус орбиты не может быть произвольным, а должен подчиняться уравнению:

$$mvr_k = \frac{h}{2\pi} k$$

, где r_k мы будем обозначать k -ую стационарную орбиту.

Отсюда получаем

$$v = \frac{hk}{2\pi mr_k}$$

Контрольные вопросы

1. Что определяет квадрат модуля волновой функции?
2. Что характеризует главное квантовое число?
3. Из каких соотношений можно определить скорость электрона на орбите и радиус боровской орбиты?
4. Каков квантово-механический смысл первого боровского радиуса?
5. Каков характер изменения кинетической, потенциальной и полной энергий электрона в атоме при его удалении от ядра?
6. Как объяснить сериальный характер спектра атома водорода?
7. Почему из различных серий спектральных линий атома водорода первой была изучена серия Бальмера?
8. Каким образом происходит квантование энергии на стационарных орбитах?
9. Может ли атом излучить квант энергии, переходя с низшего энергетического состояния в высшее?
10. Излучает ли энергию атом, если его электроны движутся только по стационарным орбитам? Почему?
11. Каково значение энергии низшего стационарного уровня?

Алгоритм решения задач

1. Электрон может двигаться по стационарной орбите вокруг ядра атома. В стационарном состоянии атом не излучает и не поглощает энергию.
2. Атом излучает квант энергии при переходе электрона с более удаленной на менее удаленную от ядра орбиту.
3. Если атому сообщить энергию, то электрон переходит на более удаленную от ядра орбит
4. Возможные радиусы орбит электрона и значения энергии атома водорода можно определить из соотношения $r_n = n^2 a_0$, где a_0 — скорость электрона на орбите
5. Радиусы орбит могут принимать лишь определенные значения (правила квантовых орбит).
6. Для атомов с двумя и более электронами (гелий, литий и др.) теория Бора не позволяет рассчитать энергетические уровни электронов и частоты излучения. Для сложных атомов применяются методы квантовой механики.
7. Между электроном и ядром действует также сила всемирного тяготения, которая, как показывает расчет, пренебрежимо мала по сравнению с силой электромагнитного взаимодействия (сила Кулона).
8. Для определения частоты, длины волны, энергии излучения воспользуйтесь формулами.
9. Для определения радиуса орбиты, скорости орбитального движения электрона атома водорода запишите уравнение второго закона Ньютона, считая, что центростремительное ускорение электрона на орбите сообщает сила Кулона.

Примеры решения задач

Задача 1. Вычислить для атома водорода радиус первой боровской орбиты и период обращения электрона по этой орбите.

Решение: Радиус боровской орбиты r_n и скорость v_n электрона на ней связаны соотношением (1.1). Чтобы иметь еще одно уравнение, связывающее эти величины, запишем второй закон Ньютона для электрона, который движется под действием кулоновской силы притяжения к ядру по круговой орбите.

$$\begin{cases} \frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} \\ mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \end{cases}$$

Решая систему этих уравнений, получим

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2 n^2}{\pi m e^2}, \quad v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h n} \quad (1.7)$$

Полагаем $n=1$ (первая орбита)

$$r_1 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,62^2 \cdot 10^{-68}}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38}} = 5,3 \cdot 10^{-11} \quad (\text{м})$$

Период обращения электрона по n -ой орбите равен

$$T = \frac{2\pi r_n}{v_n} \quad (1.8)$$

Скорость электрона, движущегося по первой орбите, определим из соотношения (1.7), подставив $n=1$.

$$v_1 = \frac{1,6^2 \cdot 10^{-38}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}} = 2,2 \cdot 10^6 \quad (\text{м/с}).$$

Подставляем полученные соотношения для r_1 и v_1 в (1.8)

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5,3 \cdot 10^{-11}}{2,2 \cdot 10^6} = 1,5 \cdot 10^{-16} \quad (\text{с}).$$

Ответ: $r_1 = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}, T = 1,5 \cdot 10^{-16} \text{ с}.$

Задача 2. Первоначально покоящийся атом водорода испускает фотон с частотой 1015 Гц. Определить изменение полной энергии атома.

Решение. Испустив фотон, атом приобрел скорость, которую можно определить, применяя к системе «фотон-атом» закон сохранения импульса. Первоначальный импульс системы равен нулю. После испускания фотона (импульс фотона) атом приобрел импульс mv .

$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ – масса атома водорода. Если энергия атома до испускания фотона E_0 , а после испускания E , то по закону сохранения энергии

$$E_0 = E + hv + \frac{mv^2}{2}$$

Изменение энергии атома $\Delta E = E_0 - E$.

$$\Delta E = hv + \frac{mv^2}{2} = hv + \frac{m(hv)^2}{2m^2c^2} = hv \left[1 + \frac{hv}{2mc^2} \right]$$

$$\Delta E = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{15} \left[1 + \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{15}}{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16}} \right] = 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)} = 4,14 \text{ эВ.}$$

Ответ: $\Delta E = 4,14 \text{ эВ}$.

Задача 3. Свет от водородной лампы падает на дифракционную решетку с периодом 2,05 мкм. Под углом 30° зарегистрирована некоторая линия десятого порядка. Определить, какому переходу электрона в атоме водорода соответствует эта линия.

Решение. Условием главного максимума при дифракции решетки является соотношение $d \cdot \sin \theta = k \lambda$, из которого следует, что длина волны, излучаемой атомом водорода линии равна $\lambda = \frac{d \cdot \sin \theta}{k}$; (мкм) = 102,5 нм. Найденная длина волны свидетельствует о том, что эта линия наблюдается в ультрафиолетовой области спектра. Применим сериальную формулу для этой области спектра, откуда можно определить n – номер уровня, с которого перешел

электрон

Ответ: электрон перешел с третьего уровня на первый.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить энергию фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона со второй боровской орбиты на первую. (Ответ: $E = 10 \text{ эВ}$.)

Задача 2. Определить наибольшую E_{\max} и наименьшую E_{\min} энергии фотона в ультрафиолетовой серии спектра водорода (серии Лаймана). (Ответ: $E_{\max} = 13,6 \text{ эВ}$, $E_{\min} = 10,2 \text{ эВ}$.)

Задача 3. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 121,5 \text{ нм}$. Определить радиус r электронной орбиты возбужденного атома водорода. (Ответ: $r = 212 \text{ пм}$.)

Задача 4. Найти наименьшую и наибольшую длины волн спектральных линий водорода в видимой области спектра. (Ответ: $\lambda_{\max} = 0,656 \text{ мкм}$, $\lambda_{\min} = 0,365 \text{ мкм}$.)

Задача 5. В каких пределах должны лежать длины волн монохроматического света, чтобы при возбуждении атома водорода квантами света радиус орбиты электрона увеличился в 9 раз? (Ответ: $96,6 \text{ нм} \leq \lambda \leq 102,2 \text{ нм}$.)

Задача 6. Какую наименьшую энергию надо сообщить иону He^+ , находящемуся в основном состоянии, чтобы он смог испустить фотон, соответствующий головной линии серии Бальмера? (Ответ: $E = 48,3 \text{ эВ}$.)

Задача 7. Найти для водородоподобного иона радиус n -ой боровской орбиты и скорость электрона на ней. Вычислить эти величины для первой боровской орбиты иона He^+ . (Ответ: $r_1 = 26,5 \text{ пм}$, $v_1 = 4,4 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.)

Практическое занятие № 16 Изучение солнечной системы

Цель работы:

- уметь узнавать и классифицировать основные небесные объекты по их фотографиям;
- знать названия основных астрономических объектов (тип объекта, собственные имена);
- знать сравнительные размеры объектов (самые маленькие — самые большие);
- знать взаимное расположение и удалённость небесных объектов от Земли и от Солнца.

Метапредметные (общеучебные) умения:

- систематизировать объекты по различным критериям;
 - устанавливать причинно-следственные связи и анализировать их.
 - идентифицировать космические объекты по их снимкам или иллюстрациям;
- систематизировать космические объекты по их удалённости от поверхности Земли; по их размерам.

№	Тип объекта	Название объекта	Примечание
1	Туманность	Конская Голова	Возможно, учащиеся напишут «туманность в Орионе», что также следует засчитать как правильный ответ.
2	Искусственный спутник Земли	Международная космическая станция (МКС)	Если дан только ответ «Международная космическая станция», его следует считать верным, но всё же отметить, что тип объекта — искусственный спутник Земли.
3	Спутник Земли Планета	Луна Земля	На данном фото представлены два космических объекта: Земля и Луна. Это сделано для того, чтобы ученики правильно идентифицировали Луну и планету Меркурий (снимок 7), которые выглядят очень похожими на фотографиях.
4	Астероид	Веста	Достаточно, если ученики определяют только тип объекта.
5	Звёздное скопление	Плеяды	
6	Галактика	М31 Андромеда	Указание названия «М31» не является обязательным.
7	Планета	Меркурий	
8	Скопление галактик	Квинтет Стефана	Достаточно, если ученики определяют только тип объекта.
9	Планета	Нептун	

Объекты в порядке увеличения их размеров от меньших к большим: 2, 4, 3, 7, 9, 1, 5, 6, 8. Возможны трудности в определении, какой объект имеет большие размеры: туманность Конская Голова или звёздное скопление Плеяды. Размеры туманности Конская Голова (диаметр) примерно 3,5 световых года, она находится на расстоянии примерно 1500 световых лет от Земли. Примерный радиус звёздного скопления Плеяды составляет 35 световых лет, расстояние до него около 444,2 светового года. Объекты по их удалённости от поверхности Земли располагаются следующим образом: 2, 3 (имеется в виду Луна), 4 и 7 (в зависимости от положения на своих орбитах порядок их расположения относительно Земли может меняться), 9, 5, 1, 6, 8.

В случае возникновения затруднений в определении, какой из объектов — туманность Конская Голова или звёздное скопление Плеяды — находится ближе к Земле, предложите учащимся ответить на вопрос, какой из этих объектов возможно наблюдать невооружённым глазом (конечно же, это не является прямым указанием на то, что Плеяды расположены ближе, но именно в этом случае это действительно так). Сортируя объекты по их удалённости от поверхности Солнца, учащиеся могут отметить, что изменяется порядок только некоторых объектов Солнечной системы: самым ближним становится Меркурий (№ 7); Луна, Земля и МКС могут располагаться в различном порядке в зависимости от их положения на своих орбитах. Таким образом, последовательность объектов имеет вид: 7; 3; 2; 4; 9; 5; 1; 6; 8 или 7; 2; 3; 4; 9; 5; 1; 6; 8

Вопросы для закрепления материала

При перечислении объектов изучения астрономии неправильным будет ответ «созвездие» — это не космический объект, а участок звёздного неба. Желательно, чтобы учащиеся при ответе на вопрос указали и те объекты и их тип, которых нет на представленных фотографиях. Анализ ответов учащихся позволит оценить сформированность у них понятия «космические объекты» и представления о размерах различных космических объектов, их расположении в пространстве относительно Земли и Солнца.

Пункт наблюдения определяется из условия, что одна из восьми предложенных в задании звёзд наблюдается в зените. Для построения графической модели небесной сферы необходимо знать широту места наблюдения. Учащиеся должны вывести формулу для её определения при условии, что конкретная звезда находится в зените. В этом случае высота звезды равна 90. Тогда широта места наблюдения $\phi = \delta$, где δ — склонение звезды. Склонение звёзд учащиеся находят, используя ресурсы Интернета, либо с помощью подвижной карты звёздного неба. В таблице приведены искомые величины.

Звезда	Склонение δ
Бетельгейзе	+7° 24'
Вега	+38° 48'
Спика	11° 09'
Канопус	52° 42'
Антарес	26° 26'
Сириус	16° 42'
Альферац	+29° 05'
Рукбах	+60° 14'

На заготовках (рис. 3а и 3б, с. 8 тетради-практикума) учащиеся строят проекции двух небесных сфер для места наблюдения, где в зените кульминируют указанные учителем звёзды. Рекомендуем предлагать учащимся следующие варианты звёзд: Вега и Канопус, Альферац и Сириус, Рукбах и Спика. Возможны и другие сочетания, но желательно, чтобы в одном случае склонение звезды было положительным, в другом — отрицательным. На рисунках 3а и 3б тетради-практикума уже изображены небесный меридиан (окружность) и линии, изображающие математический горизонт и отвесную линию.

Учащиеся следуют предложенному алгоритму:

- Отмечают на рисунке центр небесной сферы O , точки зенита Z и надира Z' .
- На линии горизонта обозначают точки севера N и юга S , которые являются точками пересечения небесного меридиана и линии математического горизонта (положение точек N и S не является фиксированным, точка севера N может располагаться как слева, так и справа).

- Отмечают положения Северного P и Южного P' полюсов мира (приводится подсказка: для наблюдателя в Северном полушарии Земли над горизонтом расположен Северный полюс мира, в Южном — Южный полюс мира).

- Проводят линию POP' , изображающую ось мира.

- Строят линию, изображающую небесный экватор QQ' . По построенному рисунку небесной сферы учащиеся определяют высоту h^Q точки Q пересечения небесного экватора с небесным меридианом, лежащей над плоскостью математического горизонта: $h^Q = 90^\circ - \phi$ или $h^Q = 90^\circ - \delta$. Суточные параллели звёзд на графических моделях изображаются прямыми линиями, параллельными линии небесного экватора. Для незаходящих звёзд эта линия полностью лежит над горизонтом, для невосходящих — под горизонтом, для звёзд, которые восходят и заходят, линия суточной параллели пересекает линию горизонта. Пример графической модели небесной сферы для места наблюдения, где в зените кульминирует Канопус, приведен на рисунке. Суточные параллели звёзд показаны линиями: незаходящие — штриховая, невосходящие — штрихпунктирная, восходящие и заходящие — сплошная жирная линия сразу за линией небесного экватора (см. рис. 1).

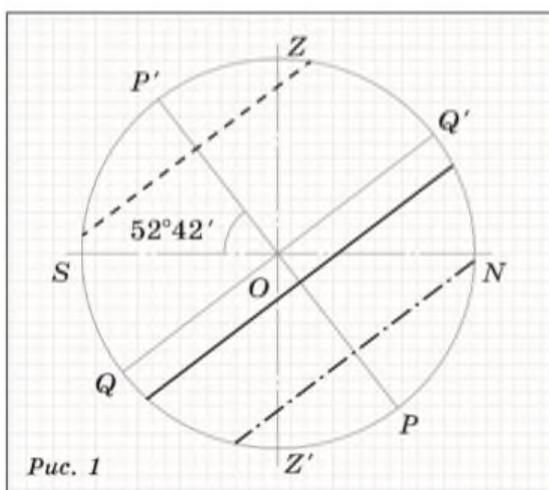


Рис. 1

Вопросы для закрепления материала Если звезда кульминирует в зените в месте наблюдения, склонение этой звезды равно широте места наблюдения: $\delta = \phi$.

Вывод формул Для наблюдателя, находящегося в Северном полушарии Земли на широте ϕ , звезда является незаходящей, если выполняется условие: в нижней кульминации светило находится выше горизонта, т.е. $h_n = -90^\circ + \phi + \delta > 0$, $\delta > 90^\circ - \phi$. Аналогично находим для невосходящих звёзд:

$\delta < -(90^\circ - \phi)$; для звёзд, которые восходят и заходят: $(90^\circ - \phi) < \delta < 90^\circ - \phi$. В качестве дополнительного исследования учащимся можно предложить вывести формулы для вычисления высоты светила в кульминациях для наблюдателя, находящегося в Южном полушарии. Выполнение такой работы способствует развитию пространственного мышления. Задание вполне выполнимо, так как требует несложных геометрических построений на сфере

Контрольные вопросы по данной теме:

1. Как движется Солнце после восхода в средних широтах Северного полушария? Вверх, но вправо или влево?
2. Как изменение полуденной высоты Солнца влияет на температуру в данной местности?
3. Как изменяется продолжительность дня в течение года? Как это связано с полуденной высотой Солнца и изменением точек восхода и захода Солнца?
4. Где на Земле можно увидеть Солнце в зените?
5. Где летом сумерки продолжительнее: в Санкт-Петербурге или в Сочи?
6. Что такое белые ночи; полярный день?