

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

Физико-математический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

**О.А. Котловский**

# ПРАКТИКУМ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

*Электронный учебно-методический комплекс  
для студентов специальности  
6-05-0113-04*

*Физико-математическое образование (физика и  
информатика)*

Брест  
БрГУ имени А.С. Пушкина  
2025



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 1 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

**Автор-составитель:**

**Котловский Олег Адольфович** – доцент кафедры общей и теоретической физики учреждения образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», кандидат педагогических наук, доцент

**Рецензенты:**

**Кафедра физики** учреждения образования Брестский государственный технический университет

**Сендер Николай Никитич** – доцент кафедры фундаментальной математики учреждения образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», кандидат физико-математических наук, доцент



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 2 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Электронный учебно-методический комплекс предназначен для проведения лекционных и практических занятий по дисциплине «Практикум по решению задач по физике». Адресован студентам второго курса физико - математического факультета специальности 6-05-0113-04 Физико-математическое образование (физика и информатика).

Учебный комплекс составлен на основе учебной программы «Практикум по решению задач по физике» по специальности 6-05-0113-04 Физико-математическое образование (физика и информатика) и учебного плана для специальности 6-05-0113-04 Физико-математическое образование (физика и информатика), рег. № ФМ-6-003-23/уч. от 23.02.2023.

Разработан в формате pdf.

**УДК 53(075.8)**  
**ББК 22.3я73**

Текстовое учебное электронное издание

Системные требования: тип браузера и версия любые, скорость подключения к информационно-телекоммуникационным сетям любая, дополнительные настройки к браузеру не требуются.

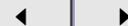
© УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 3 из 320

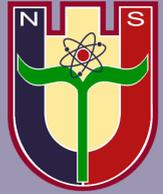
Назад

На весь экран

Закреть

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
Выписка из учебно-методической карты учебной дисциплины	9
Физические задачи и методы их решения	15
Решение задач по теме «Основы кинематики»	25
Решение задач по теме «Основы динамики»	43
Решение задач по теме «Основы статики»	70
Решение задач по теме «Законы сохранения в механике»	89
Решение задач по теме «Основы молекулярно-кинетической теории»	108
Решение задач по теме «Основы термодинамики»	119
Решение задач по теме «Основы электростатики»	134
Решение задач по теме «Постоянный электрический ток»	157
Решение задач по теме «Магнитное поле»	173
Решение задач по теме «Колебания и волны»	192
Решение задач по теме «Оптика»	211
Решение задач по темам «Элементы СТО», «Фотоны»	227
Решение задач по теме «Физика атома»	232
Решение задач по теме «Физика ядра»	236
Практическое занятие №1	241
Практическое занятие №2	243
Практическое занятие №3	246
Практическое занятие №4	248



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 4 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Практическое занятие №5 . . . . .	251
Практическое занятие №6 . . . . .	253
Практическое занятие №7 . . . . .	255
Практическое занятие №8 . . . . .	257
Практическое занятие №9 . . . . .	259
Практическое занятие №10 . . . . .	261
Практическое занятие №11 . . . . .	263
Практическое занятие №12 . . . . .	265
Практическое занятие №13 . . . . .	267
Практическое занятие №14 . . . . .	269
Практическое занятие №15 . . . . .	272
Практическое занятие №16 . . . . .	275
Практическое занятие №17 . . . . .	278
Практическое занятие №18 . . . . .	280
Практическое занятие №19 . . . . .	282
Практическое занятие №20 . . . . .	284
Практическое занятие №21 . . . . .	287
Практическое занятие №22 . . . . .	289
Практическое занятие №23 . . . . .	292
Практическое занятие №24 . . . . .	294
Практическое занятие №25 . . . . .	297
Практическое занятие №26 . . . . .	300
Практическое занятие №27 . . . . .	303



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 5 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

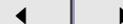
Практическое занятие №28 . . . . .	306
Практическое занятие №29 . . . . .	308
Практическое занятие №30 . . . . .	310
Практическое занятие №31 . . . . .	312
Практическое занятие №32 . . . . .	315
Нулевой вариант заданий к зачету . . . . .	317
Нулевой вариант заданий к экзамену . . . . .	318
Литература . . . . .	319



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 6 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Введение

Дисциплина «Практикум по решению задач по физике» относится к числу ведущих дисциплин в ходе профессиональной подготовки в университете будущих преподавателей физики и информатики. Качество профессиональной подготовки преподавателя физики в значительной степени определяется уровнем владения методикой решения физических задач школьного курса физики.

*Основная цель ЭУМК «Практикум по решению задач по физике»* состоит в обеспечении необходимой подготовки студентов специальности «Физико-математическое образование (физика и информатика)» к проведению самостоятельной работы по решению физических задач на уроках физики в учреждениях общего среднего образования.

*Структура ЭУМК:* Учебно-методический комплекс содержит четыре раздела: теоретический, в котором представлен необходимый теоретический материал и примеры решения типовых физических задач по курсу физики средней школы; практический, в который входит более 300 задач для практических занятий и самостоятельной работы студентов; раздел контроля знаний, включающий в себя тестовые задания и вопросы к зачету и экзамену; вспомогательный, в котором приводится выписка из учебно-методической карты учебной дисциплины и список литературы.

С учетом специфики учебного курса используются следующие фор-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 7 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

мы обучения: практические занятия, самостоятельная работа студентов (выполнение домашних заданий различной сложности с последующим отчетом о проделанной работе, выполнение тестовых заданий). Основной технологией обучения, адекватно отвечающей целям изучения данной дисциплины, является технология проблемного обучения, основанная на проблемном изложении материала, использовании частично-поискового и исследовательского методов.

Изучение дисциплины основывается на знании студентами материала школьных программ физики, математики и тесно связано с дисциплиной «Методика обучения физике».

Использование в учебном процессе ЭУМК «Практикум по решению задач по физике» должно способствовать формированию следующих компетенций:

СК-5. Применять ключевые алгоритмы и способы решения задач по физике в ходе образовательного процесса при реализации образовательных программ общего среднего образования.

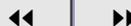
В соответствии с учебным планом учреждения образования по специальности Физика и информатика для дневной формы получения образования со сроком обучения 4 года учебная дисциплина «Практикум по решению задач по физике» изучается на II курсе в третьем и четвертом семестрах. Общее количество часов – 180, количество аудиторных часов – 98 (34 часа – лекции, 64 часа – практические занятия). Форма промежуточной аттестации – зачет и экзамен.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 8 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

# Выписка из учебно-методической карты учебной дисциплины

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Литература	Средства обучения	Формы контроля
		Лекции	Практические	Семинарские	Лабораторные			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>2 семестр (50 ч)</b>	<b>18</b>	<b>32</b>					<b>зачет</b>
<b>1.</b>	<b>Физические задачи и методы их решения</b>	<b>2</b>						
1.1.	Классификация задач по физике. Структура процесса решения задачи. Основные этапы решения и их характеристика. Методы и способы решения элементарных физических задач. Общий квазиалгоритм решения физической задачи.	2				1. с.5-9; 3. с. 24-29; 4. с.18-24; 5. с.48-58; 6. с. 32-47;	Компьютерная презентация.	
<b>2.</b>	<b>Решение задач по теме «Основы кинематики»</b>	<b>2</b>	<b>6</b>					
2.1.	Общий квазиалгоритм решения задач по кинематике. Механическое движение. Материальная точка Система отсчета. Путь и перемещение. Относительность движения. Классический закон сложения скоростей. Средняя скорость.	1	2			1. с.10-11; 3. с. 30-39; 4. с.25-29; 5. с.59-68; 6. с.49-57;	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
2.2.	Прямолинейное равномерное и равноускоренное движение. Криволинейное движение. Линейная и угловая скорости. Период и частота. Ускорение при движении по окружности с постоянной угловой скоростью	1	4			1. с.10-11; 3. с. 30-39; 4. с.25-29; 5. с.59-68; 6. с.49-57; 7.с. 17-19.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
<b>3.</b>	<b>Решение задач по теме «Основы динамики»</b>	<b>4</b>	<b>8</b>					
3.1.	Общий квазиалгоритм решения задач по динамике. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Масса. Сила. Сложение сил. Второй и третий законы Ньютона	1	2			1. с.12-13; 3. с. 40-59; 4. с.35-49; 5. с.69-78; 6. с.59-67; 7.с. 21-24.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 9 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

3.2.	Силы упругости. Силы трения. Движение под действием сил трения.	1	2			1. с.12-13; 3. с. 40-59; 4. с.35-49; 5. с.69-78; 6. с.59-67; 7.с. 21-24.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
3.3.	Гравитационные силы. Сила тяжести. Вес тела, движущегося с ускорением. Перегрузки. Невесомость. Движение тела под действием силы тяжести. Искусственные спутники.	1	2			1. с.12-13; 3. с. 40-59; 4. с.35-49; 5. с.69-78; 6. с.59-67; 7.с. 21-24.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
3.4.	Движение тела под действием нескольких сил в вертикальном и горизонтальном направлении и по наклонной плоскости. Движение связанных тел.	1	2			1. с.12-13; 3. с. 40-59; 4. с.35-49; 5. с.69-78; 6. с.59-67; 7.с. 21-24.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
4.	<b>Решение задач по теме «Основы статики»</b>	<b>2</b>	<b>4</b>					
4.1.	Условия равновесия тел. Момент силы. Простые механизмы. Рычаги. Блоки. Наклонная плоскость. «Золотое правило механики». Коэффициент полезного действия (КПД) механизма. Центр тяжести тела. Виды равновесия.	1	2			2. с.4-6; 3. с. 60-69; 4. с.45-59; 5. с.79-88; 6. с.69-77; 7.с. 31-34.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
4.2.	Давление. Гидростатическое давление. Действие жидкости и газа на погруженные в них тела. Выталкивающая сила. Закон Архимеда. Плавание судов. Воздухоплавание.	1	2			1. с.12-13; 3. с. 40-59; 4. с.35-49; 5. с.69-78; 6. с.59-67; 7.с. 21-24.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
5.	<b>Решение задач по теме «Законы сохранения в механике»</b>	<b>4</b>	<b>6</b>					
5.1	Импульс тела. Импульс физической системы. Теорема об изменении импульса. Закон сохранения импульса. Неупругие столкновения.	2	2			2, с.7-10; 3. с.70-79; 4. с.65-69;	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии

Начало

Содержание



Страница 10 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

					5. с.89-98; 6. с.79-87; 7.с. 35-39.		
5.2.	Механическая работа. Мощность. КПД. Кинетическая и потенциальная энергия.	1	2		2, с.7-10; 3. с.70-79; 4. с.65-69; 5. с.89-98; 6. с.79-87; 7.с. 35-39.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
5.3.	Механическая потенциальная и кинетическая энергии. Теорема об изменении кинетической энергии. Полная энергия системы. Закон сохранения энергии. Упругие столкновения.	1	2		2, с.7-10; 3. с.70-79; 4. с.65-69; 5. с.89-98; 6. с.79-87; 7.с. 35-39.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
<b>6.</b>	<b>Решение задач по молекулярной физике</b>	<b>2</b>	<b>4</b>				
6.1.	Общий квазиалгоритм решения задач по молекулярной физике. Эвристические ориентиры по использованию квазиалгоритма для исследования и моделирования физических систем в молекулярной физике. Масса и размеры молекул. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.	1	2		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
6.2.	Уравнение состояния идеального газа. Давление смеси газов. Изотермический, изобарный и изохорный процессы изменения состояния идеального газа. Насыщенный пар. Влажность воздуха.	1	2		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
<b>7.</b>	<b>Решение задач по теме «Основы термодинамики»</b>	<b>2</b>	<b>4</b>				
7.1.	Внутренняя энергия идеального газа. Работа и количество теплоты. Уравнение теплового баланса. Изменение внутренней энергии тел в процессе выполнения работы.	1	2		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии

Начало

Содержание



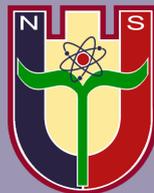
Страница 11 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

7.2.	Первый закон термодинамики и его применение к изопроцессам. Изменение внутренней энергии в процессах теплопередачи. Тепловые двигатели. КПД теплового двигателя.	1	2		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
<b>2 семестр (48 ч)</b>		<b>16</b>	<b>32</b>				
<b>8.</b>	<b>Решение задач по теме «Электростатика»</b>	<b>2</b>	<b>4</b>				
8.1.	Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие точечных зарядов. Закон Кулона. Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля. Напряженность поля, создаваемого точечным зарядом. Линии напряженности электростатического поля. Принцип суперпозиции электростатических полей.	1	2		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
8.2.	Потенциал и разность потенциалов. Поле точечного заряда. Электроемкость. Емкость плоского конденсатора. Соединение конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора	1	2		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
<b>9.</b>	<b>Решение задач по теме «Постоянный электрический ток»</b>	<b>2</b>	<b>6</b>				
9.1	Сила тока. Сопротивление. Зависимость сопротивления от температуры. Закон Ома для однородного участка цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников. Электродвижущая сила. Закон Ома для неоднородного участка цепи и для полной цепи.	1	4		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
9.2.	Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца. Коэффициент полезного действия источника тока. Электрический ток в растворах и расплавах электролитов. Законы Фарадея.	1	2		2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97;	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 12 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

10.	<b>Решение задач по теме «Магнитное поле. Электромагнитная индукция»</b>	2	6				
10.1.	Магнитное поле тока. Индукция магнитного поля. Принцип суперпозиции магнитных полей. Закон Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.	1	4			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация. Ответ на практическом занятии
10.2.	Магнитный поток. Электромагнитная индукция. ЭДС индукции. Закон электромагнитной индукции. Самондукция. Индуктивность. Энергия и плотность	1	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация. Ответ на практическом занятии
11.	<b>Решение задач по теме «Колебания и волны»</b>	2	4				
11.1	Механические колебания. Уравнение гармонических колебаний. Координата, скорость и ускорение в колебательном движении. Математический и пружинный маятники. Превращения энергии при гармонических колебаниях. Резонанс. Упругие волны. Поперечные и продольные волны. Связь длины волны со скоростью ее распространения и периодом (частотой). Звуковые волны.	1	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация. Ответ на практическом занятии
11.2	Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания в контуре. Электромагнитные волны и скорость их распространения. Энергия электромагнитной волны. Переменный ток. Мощность в цепи переменного тока. Трансформатор.	1	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация. Ответ на практическом занятии
12.	<b>Решение задач по оптике и специальной теории относительности</b>	2	6				
12.1.	Дисперсия, интерференция и дифракция света. Дифракционная решетка.	1	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97;	Компьютерная презентация. Ответ на практическом занятии



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 13 из 320

Назад

На весь экран

Закреть



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

12.2.	Законы геометрической оптики: прямолинейное распространение, отражение и преломление света. Зеркала. Полное отражение. Тонкие линзы. Построение изображений в линзах. Формула тонкой линзы. Оптические приборы.	1	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
12.3.	Релятивистский закон сложения скоростей. Импульс и энергия в релятивистской механике. Энергия покоя. Закон взаимосвязи массы и энергии. Законы сохранения в релятивистской теории.		2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
13.	<b>Решение задач по теме «Фотоны. Действие света»</b>	<b>2</b>	<b>2</b>					
13.1.	Квантовая гипотеза Планка. Фотон. Фотозлектрический эффект. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Давление света.	2	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
14.	<b>Решение задач по теме «Физика атома»</b>	<b>2</b>	<b>2</b>					
14.1.	Ядерная модель атома. Квантовые постулаты Бора. Излучение и поглощение энергии атомом. Квантово-механическая модель атома водорода.	2	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии
15.	<b>Решение задач по теме «Физика ядра»</b>	<b>2</b>	<b>2</b>					
15.1.	Протонно-нейтронная модель ядра. Энергия связи. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции. Энергетический выход ядерных реакций.	2	2			2. с.11-13; 3. с.80-89; 4. с.75-79; 5. с.98-99; 6. с.89-97; 7.с. 45-59.	Компьютерная презентация.	Ответ на практическом занятии

Начало

Содержание



Страница 14 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 1.

### Физические задачи и методы их решения.

Классификация задач по физике. Структура процесса решения задачи. Основные этапы решения и их характеристика. Методы и способы решения элементарных физических задач. Общий квазиалгоритм решения физической задачи.

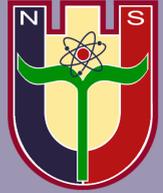
Литература: [1, с. 5–18], [6, с. 6–36], [8, с. 3–4]

Образовательное, развивающее и воспитательное значение физических задач в курсе физики учреждений общего среднего образования очень велико. Без обучения решению физических задач не могут быть достигнуты цели физического образования, указанные в учебных программах по предмету «Физика».

В учебной и методической литературе встречаются различные определения учебной физической задачи. Приведем некоторые из них:

1. Небольшая проблема, которая решается с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе законов и методов физики (С.Е. Каменецкий, В.П. Орехов);

2. Ситуация, требующая от учащихся мыслительных и практических действий на основе использования законов и методов физики, направленных на овладение знаниями по физике, умениями применять их на практике и развитие мышления (А.В. Усова, Н.Н. Тулькибаева);



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 15 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

3. Физическое явление, точнее - его словесная модель (или совокупность явлений) с некоторыми известными и неизвестными физическими величинами, характеризующими это явление (В.С. Беликов).

Для понимания сущности задачи необходимо раскрыть ее структуру (от лат. *structura* «строение, устройство; связь или расположение составных частей»). В структуре задачи принято различать два элемента:



Исходя из сущности и структуры, выделяют различные виды физических задач. Задачи по физике классифицируют по многим признакам: по



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 16 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

тематике учебных разделов (механика, молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм и т.д.), по содержанию (абстрактные и конкретные), в зависимости от характера и методов исследования (качественные и количественные), по способу решения (устные, вычислительные, графические, экспериментальные), по степени сложности, и т.д.



Решить физическую задачу – это значит определить искомые физические величины, связи между ними. Общая структура деятельности обучающегося по решению физической задачи включает в себя: анализ условия, поиск решения, решение, проверку результата и исследование



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



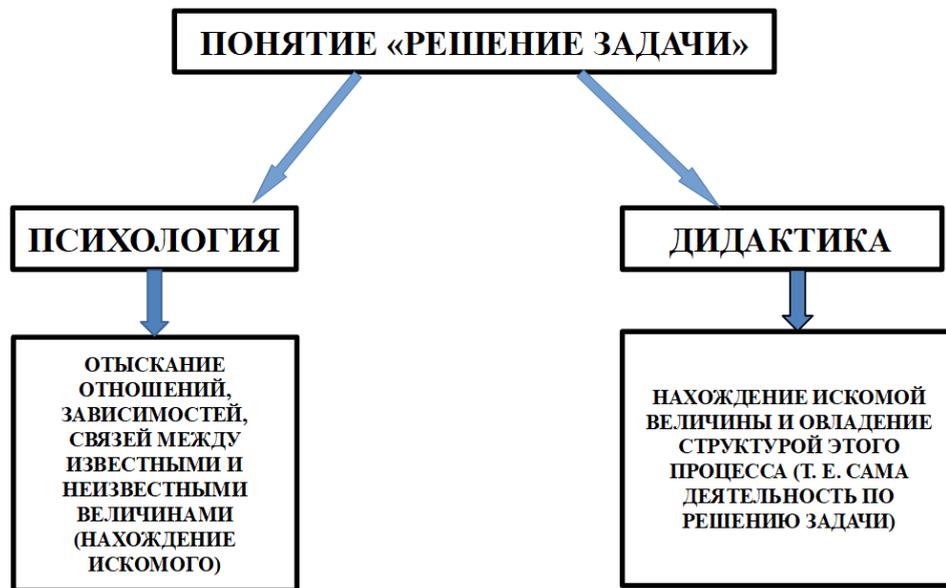
Страница 17 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

решения. Понятие "решение задачи" в психологии и педагогике несколько различается:



На этапе поиска решения физической задачи обучающийся применяет основные методы решения аналитический и синтетический. Эти методы решения в методике обучения решению физических задач объединяют в один метод аналитико-синтетический.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 18 из 320

Назад

На весь экран

Закреть



## МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ

Расчленение сложной задачи на часть простых задач (анализ), при этом решение начинается с отыскания закономерности, которая дает непосредственный ответ на вопрос задачи.

### СИНТЕТИЧЕСКИЙ

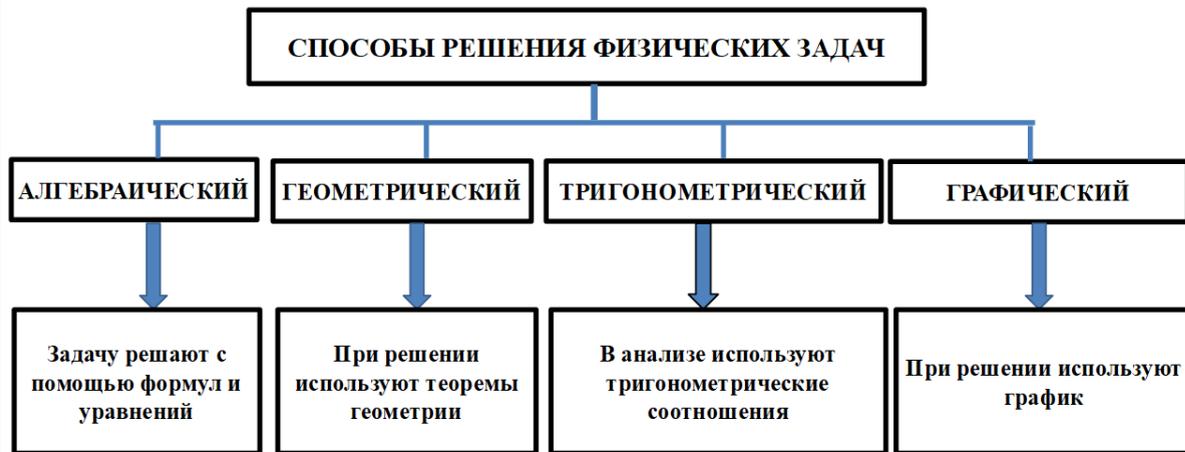
Решение начинается не с искомой величины, а с величин, **которые** могут быть найдены непосредственно из условия. Решение разворачивается постепенно, пока в исходную формулу не войдет искомая величина.

Для решения элементарной задачи необходимо и достаточно воспроизвести и применить один соответствующий физический закон. Отсюда вытекает система методов решения задач по физике, как система общих ориентиров для осуществления самостоятельной деятельности решающего задачу на каждом из этих этапов:

- 1) метод анализа физической ситуации;
- 2) метод применения физического закона;
- 3) система обще-частных методов;
- 4) метод упрощения и усложнения;

5) метод анализа решения и т.п. Каждый из методов проявляет себя только в системе методов. Задачу можно решить и интуитивно, но знание этих методов ускоряет и гарантирует решение.

В методике обучения физике рассматриваются различные классификации способов решения задач по физике. Например, Т.Ю. Герасимова классифицирует способы решения физических задач с математической точки зрения:



Необходимо отметить, что некоторые физические задачи допускают решение разными способами, например алгебраическим и графическим. В современной педагогической науке существуют различные подходы



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 20 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

к выделению этапов решения физической задачи. Знание обучающимся этапов решения несомненно облегчает сам процесс решения физической задачи. Приведем в качестве примера наиболее известные из них.

Так, В.А. Балаш разделяет решение большинства расчетных задач на четыре этапа:

### **ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ (В.А. БАЛАШ)**

**Анализ условия задачи и его наглядная интерпретация  
схемой или чертежом**

**Составление уравнений, связывающих физические величины,  
которые характеризуют рассматриваемое явление с количественной  
стороны**

**Совместное решение полученных уравнений относительно той или  
иной величины, считающейся в данной задаче неизвестной**

**Анализ полученного результата и числовой расчет**



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 21 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Представляет интерес подход к данной проблеме Б.С. Беликова, который выделяет три этапа решения физической задачи:



Процесс решения физической задачи включает в себя выполнение общих и частных правил, которые можно применить при решении. В общем план действий, который складывается в процессе решения конкретной задачи по физике состоит из трех этапов: анализа условия задачи, формирования замысла и собственно решения и проверки.

Наиболее подробно этапы и правила решения физической задачи опи-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 22 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

саны А.И. Бугаевым:

## ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ (БУГАЕВ А.И.)

- 1) чтение условия и выяснение смысла терминов и выражений;
- 2) краткая запись условия: выполнение соответствующего ему рисунка (чертежа, схемы, графика);
- 3) анализ содержания задачи с целью выяснения ее физической сущности и отчетливого представления учащимися рассматриваемого в условии явления или состояния тел, восстановление в памяти учеников понятий и законов, которые нужны для решения;
- 4) составление плана решения (проведения опыта), дополнение условия физическими константами и табличными данными; анализ графических материалов (графиков, фотографий и т. п.);
- 5) перевод значений физических величин в единицы СИ;
- 6) нахождение закономерностей, связывающих искомые и данные величины, запись соответствующих формул;
- 7) составление и решение системы уравнений в общем виде (сборка установки для опыта и выполнение его);
- 8) вычисление искомой величины (анализ результата эксперимента);
- 9) анализ полученного ответа; оценка влияния упрощений, допущенных в условии и при решении (выполнении эксперимента).

Виды физических задач разнообразны. Подходы к решению устных, вычислительных или экспериментальных задач также различны. Поэтому, разумеется, что единого метода, алгоритма, рецепта решения физических задач нет. Однако для облегчения решения желательно придерживаться следующего квазиалгоритма:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 23 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## ОБЩИЙ КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ



1. Выделить физические объекты задачи и заменить их идеальными физическими моделями.
2. Выбрать систему отсчета.
3. Выбрать физическую систему для исследования.
4. Проанализировать внешние и внутренние взаимодействия выбранной физической системы и определить ее тип.
5. Ввести кинематические, динамические и энергетические характеристики внешних и внутренних взаимодействий.
6. Выяснить возможность описания выделенной физической системы кинематико-динамическим или энергетическим способом.
7. Выбрать физические законы для описания физической системы.
8. Записать законы движения и (или) законы сохранения для объектов, входящих в состав физической системы.
9. Сделать схематический рисунок и указать на нем кинематические, динамические и энергетические характеристики физической системы.
10. Спроецировать векторные уравнения на оси координат.
11. Решить систему скалярных уравнений в общем виде.
12. Проанализировать результаты решения в общем виде (при необходимости проверить размерность).
13. Все величины перевести в одну систему единиц, сделать численные расчеты и проанализировать их.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 24 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Лекция 2.

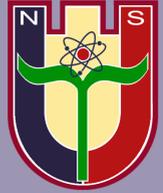
### Решение задач по теме «Основы кинематики».

Общий квазиалгоритм решения задач по кинематике. Механическое движение. Материальная точка. Система отсчета. Путь и перемещение. Относительность движения. Классический закон сложения скоростей. Средняя скорость. Прямолинейное равномерное и равнопеременное движение. Криволинейное движение. Линейная и угловая скорости. Период и частота. Ускорение при движении по окружности с постоянной угловой скоростью.

Литература: [1, с. 108–109], [6, с. 119–140], [8, с. 5–42]

Кинематика - раздел механики, изучающий механическое движение тел без учета причин (сил) вызвавших это движение. Во всех физических задачах темы «Основы кинематики» описывается движение *материальной точки* - тела, размерами и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь. Положение материальной точки в пространстве определяется как положение геометрической точки. Обучающиеся должны четко понимать, что одно и то же тело в одних случаях можно считать материальной точкой, в других нет.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие четыре группы физических задач, которые используются в процессе изучения кинематики в школе:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 25 из 320

Назад

На весь экран

Закреть



## ТИПЫ ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ КИНЕМАТИКИ

### РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

путь и перемещение; равномерное прямолинейное движение (нахождение пути, перемещения, скорости и координаты); графическое представление равномерного прямолинейного движения

### НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

расчет средней скорости (путевой и перемещения), относительность движения (закон сложения скоростей)

### РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

расчет параметров равнопеременного движения (скорости, перемещения, пройденного пути и ускорения); графическое представление равнопеременного движения

### КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

расчет параметров движения материальной точки по окружности с постоянной по величине скоростью (линейной и угловой скорости, перемещения, пройденного пути и ускорения)

Задачей кинематики является получение кинематического уравнения движения, то есть зависимости радиус-вектора или координат движущегося физического тела от времени. В школьном курсе кинематики она фактически сводится к записи зависимости одной координаты материальной точки от времени, так как в большинстве задач материальная точка движется прямолинейно. Для этого необходимо знать зависимость скорости от времени и значение ускорения.

При решении школьных задач по кинематике можно пользоваться следующим квазиалгоритмом:

### КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО КИНЕМАТИКЕ



1. Проанализируйте физическую ситуацию, описанную в задаче, и выделите явно и неявно заданные материальные объекты задачи.
2. Выберите систему отсчета и оцените возможность ее моделирования посредством инерциальной системы отсчета.
3. Выберите физическую систему и замените объекты, включенные в нее, их идеальными моделями. Выделите физические законы, которые могут быть использованы для ее описания. Выберите из них те законы, которые вы будете использовать.
4. Укажите на схематическом рисунке кинематические характеристики движения: перемещение за рассматриваемый промежуток времени, мгновенную скорость в начале и в конце движения, ускорение и время.
5. Запишите выбранные кинематические законы движения для объектов, включенных в физическую систему
6. Проверьте, является ли полученная система уравнений (неравенств) полной.
7. Используя кинематические связи, геометрические соотношения и специальные условия, заданные в задаче, составьте недостающие уравнения
8. Решите полученную систему относительно неизвестных.
9. Проверьте правильность решения в общем виде.
10. Выполните числовые расчеты. Проанализируйте результаты.

В задачах, относящихся к первой группе рассматривается разница между путем и перемещением и равномерное прямолинейное движение.

Как известно *путь* (обычно обозначается буквой  $s$ ) это скалярная физическая величина, равная длине участка траектории между двумя точками, пройденной телом за рассматриваемый промежуток времени.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 27 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

*Перемещение* - вектор, соединяющий между собой начальное и конечное положение тела в рассматриваемый промежуток времени (обычно обозначается -  $\Delta\vec{r}$ ).

*Пример решения задачи.*

*Во время движения вертолет пролетел на север 4 км, а затем повернул на восток и пролетел еще 3 км. Найдите путь и перемещение вертолета.*

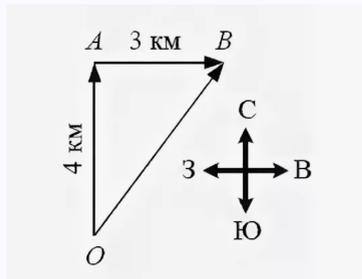


Рисунок 1

*Путь и модуль перемещения можно найти непосредственно из рисунка (см. рисунок 1).*

$$s = |OA| + |AB| = 4 + 3 = 7\text{км}$$

$$|\Delta\vec{r}| = \sqrt{|OA|^2 + |AB|^2} = \sqrt{16 + 9} = 5\text{км}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 28 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

*Средняя скорость перемещения* – это физическая величина, равная отношению вектора перемещения  $\Delta\vec{r}$  материальной точки, к величине промежутка времени  $\Delta t$  за которое это перемещение произошло:

$$\Delta\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad (2.1)$$

*Среднее ускорение* – это физическая величина, равная отношению вектора приращения скорости  $\Delta\vec{v}$  материальной точки, к величине промежутка времени  $\Delta t$  за которое это приращение произошло:

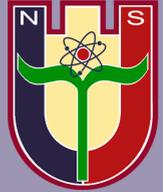
$$\Delta\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad (2.2)$$

В зависимости от того как «ведет» себя ускорение, в школьном курсе кинематики выделяют и виды механического движения материальной точки. Для самого простого вида механического движения *равномерного прямолинейного движения* ускорение равно нулю и скорость не меняется ни по направлению, ни по величине.

Кинематическое уравнение прямолинейного равномерного движения в координатной форме выглядит следующим образом:

$$x = x_0 + v_x t \quad (2.3)$$

где  $x$  – координата тела в момент времени  $t$ ,  $x_0$  – его начальная координата,  $v_x$  – проекция вектора скорости на ось  $OX$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 29 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Проекция перемещения тела  $\Delta r_x$  на ось  $OX$  определяется следующим образом:

$$\Delta r_x = x - x_0 = v_x t \quad (2.4)$$

и пройденный телом путь:

$$s = |x - x_0| = |v_x|t = vt \quad (2.5)$$

*Пример решения задачи.*

*Кинематический закон движения материальной точки задан уравнением  $x = 10 + 20t$ . Найдите начальную координату материальной точки  $x_0$ ; проекцию скорости  $v_x$ ; координату  $x$  материальной точки в момент времени 0,5 мин; проекцию перемещения и путь пройденный за это время.*

*По условию задачи материальная точка движется прямолинейно и равномерно. Сравним  $x = 10 + 20t$  с (2.3), получим  $x_0 = 10$  м, а  $v_x = 20$  м/с.*

*Найдем координату:  $x = 10 + 20t = 10 \text{ м} + 20 \text{ м/с} \cdot 30 \text{ с} = 610 \text{ м}$ . Воспользовавшись формулами (2.4) и (2.5) найдем проекцию перемещения и путь:  $\Delta r_x = v_x t = 20 \text{ м/с} \cdot 30 \text{ с} = 600 \text{ м}$ ,  $s = |v_x|t = 20 \text{ м/с} \cdot 30 \text{ с} = 600 \text{ м}$ .*

Обучающиеся должны уметь строить и анализировать графики равномерного прямолинейного движения то есть решать графические зада-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 30 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

чи по данной теме.

График зависимости проекции скорости от времени при прямолинейном равномерном движении имеет следующий вид:

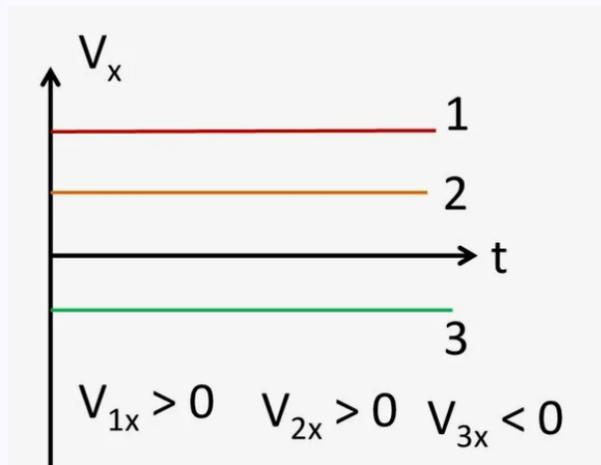


Рисунок 2

Из приведенных графиков (см. рисунок 2) видно, что материальные точки 1 и 2 движутся в одном направлении, причем  $v_{1x} > v_{2x}$ , а материальная точка 3 движется в противоположном направлении. По графику проекции скорости можно также найти проекцию перемещения и пройденный путь. Они численно равны площади прямоугольника между графиком проекции скорости и осью времени. При  $v_{3x} < 0$  проекция перемещения отрицательна и площадь надо брать со знаком «минус».



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 31 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

График зависимости координаты от времени показывает, что при прямолинейном равномерном движении координата тела линейно зависит от времени:

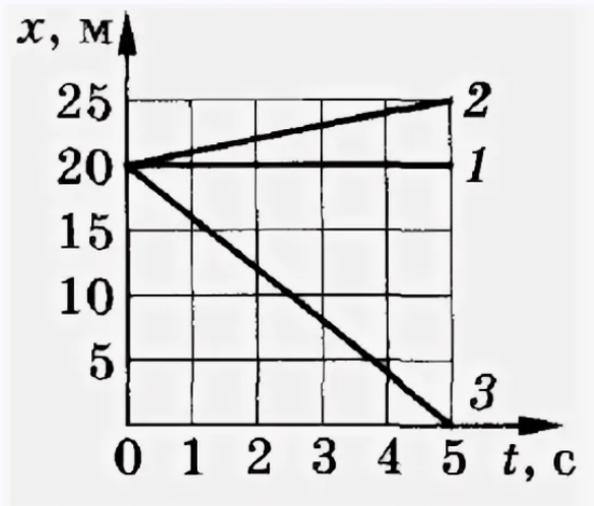


Рисунок 3

Из приведенных графиков (см. рисунок 3) можно записать кинематические уравнения движения, используя формулу (2.3):  $x_1 = 20$ ,  $x_2 = 20 + t$ ,  $x_3 = 20 - 4t$ . Из графиков видно, что тело 1 покоится, а тела 2 и 3 движутся в противоположные стороны. Кроме того, по углу наклона графика координаты можно сравнивать скорости движения тел, чем больше угол наклона, тем больше скорость тела при прямолинейном равномерном движении.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 32 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

В школьных физических задачах относящихся ко второй группе рассматриваются понятия средней скорости пути и средней скорости перемещения, а также классический закон сложения скоростей.

*Среднюю скорость пути* определяют как отношение пути к промежутку времени, за который весь путь пройден:

$$v_c = \frac{s}{t} \quad (2.6)$$

Наряду со средней путевой скоростью и средней скоростью перемещения используется понятие мгновенной скорости (истинная скорость, скорость в данный момент времени, скорость в данной точке). Определение мгновенной скорости дается через понятия дифференциального исчисления и в элементарных физических задачах данная формула не используется. Однако обучающийся должен знать, что вектор скорости в данной точке направлен по касательной к траектории движения тела.

Скорость тела величина относительная, то есть зависит от выбора системы отсчета. Скорость тела в неподвижной системе отсчета равна векторной сумме его скорости относительно движущейся системы и скорости движущейся системы относительно неподвижной. Это утверждение называют *классическим законом сложения скоростей* или *законом сложения скоростей Галилея*.

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_{12} + \vec{v}_2 \quad (2.7)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 33 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Пример решения задачи.

Первую половину пути автомобиль двигался со скоростью 80 км/ч, а вторую половину со скоростью 90 км/ч. Найдите среднюю скорость автомобиля.

По определению средней скорости пути (2.6):  $v_c = \frac{s}{t}$ . Где  $s = s_1 + s_2$ ,  $s_1 = \frac{s}{2}$ ,  $s_2 = \frac{s}{2}$ ,  $t = t_1 + t_2$ ,  $t_1 = \frac{s}{2v_1}$ ,  $t_2 = \frac{s}{2v_2}$ . Подставляя все в (2.6) окончательно получим  $v_c = \frac{2v_1v_2}{v_1+v_2} = 84,7$  км/ч.

Пример решения задачи.

Из одного пункта по взаимно перпендикулярным дорогам выехали два автомобиля: один со скоростью 80 км/ч, другой – со скоростью 60 км/ч. С какой скоростью (в км/ч) они удаляются друг от друга.

Воспользовавшись классическим законом сложения скоростей (2.7) легко получить, что  $\vec{v}_{12} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$ . Сделаем рисунок:

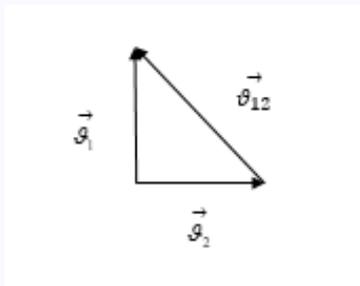


Рисунок 4



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 34 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Из рисунка (см. рисунок 4) видно, что по теореме Пифагора можно получить  $v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = 100$  км/ч.

Третья группа задач, по данной теме, это задачи на равнопеременное движение.

*Равнопеременным движением* называют движение с постоянным ускорением:

$$\vec{a} = \text{const} \quad (2.8)$$

Воспользовавшись формулой (2.2) можно получить выражение для скорости равнопеременного движения:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad (2.9)$$

Перемещение при равнопеременном движении определяется выражением:

$$\Delta \vec{r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad (2.10)$$

Тогда для проекций этих величин справедливы следующие соотношения:

$$a_x = \text{const} \quad (2.11)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 35 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$v_x = v_{0x} + a_x t \quad (2.12)$$

$$\Delta r_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \quad (2.13)$$

Воспользовавшись формулой (2.4), для координаты тела при равнопеременном движении можно записать:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \quad (2.14)$$

Путь, пройденный за время  $t$ , определяется по формуле:

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad (2.15)$$

Знак «плюс» ставят, когда тело ускоряется, а знак «минус», когда тело тормозит.

Справедливо также следующее выражение:

$$v^2 = v_0^2 \pm 2as \quad (2.16)$$

*Пример решения задачи.*

*Автомобиль, двигаясь равноускоренно, через 10с после начала движения достиг скорости 72 км/ч. Какой путь проехал автомобиль за третью секунду движения.*



*Кафедра  
общей и теоретической  
физики*

Начало

Содержание



Страница 36 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Воспользовавшись формулой (2.12), с учетом того, что  $v_{0x} = 0$ , получим следующее выражение для ускорения:

$$a = \frac{v}{t}$$

Подставляя сюда  $t = 10\text{с}$  и  $v = 20\text{м/с}$ , находим  $a = 2\text{м/с}^2$ .

Путь, который проехал автомобиль за третью секунду, равен разностей путей за три и за две секунды:  $s_{32} = s_3 - s_2$ .

Воспользовавшись формулой (2.15), с учетом того, что  $v_0 = 0$ , можно окончательно получить:

$$s_{32} = \frac{at_3^2}{2} - \frac{at_2^2}{2},$$

где  $t_3 = 3\text{с}$ , а  $t_2 = 2\text{с}$ .

После подстановки численных значений получим, что  $s_{32} = 5\text{м}$ .

Обучающиеся должны уметь строить и анализировать графики зависимости кинематических характеристик прямолинейного равнопеременного движения и решать графические задачи на применение кинематических законов прямолинейного равнопеременного движения.

Из равенства (2.11) следует, что график зависимости проекции ускорения от времени имеет следующий вид (см. рисунок 5):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 37 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть



Рисунок 5

При  $a_x > 0$  - проекция ускорения положительна, тело ускоряется. При  $a_x < 0$  - проекция ускорения отрицательна, тело тормозит. При  $v_{0x} = 0$  по графику проекции скорости можно также найти проекцию скорости. Она численно равна площади прямоугольника между графиком проекции ускорения и осью времени.

Из равенства (2.12) следует, что график зависимости проекции скорости прямолинейного равнопеременного движения от времени имеет следующий вид (см. рисунок 6):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 38 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

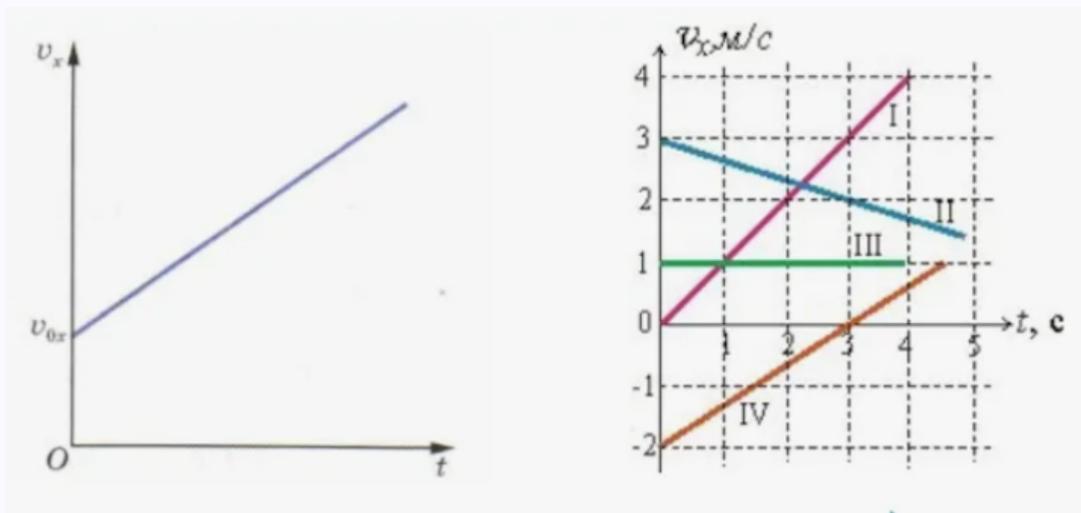


Рисунок 6

Из графиков видно, что тело I - ускоряется, тело II - тормозит, а тело III - движется равномерно. Из графика IV следует, что данное тело сначала тормозило, затем в момент времени 3 с развернулось и начало ускоряться. Кроме того, как и в случае прямолинейного равномерного движения, при прямолинейном равнопеременном движении площадь фигуры между графиком  $v_x$  и осью времени численно равна проекции перемещения.

Из равенства (2.14) следует, что график зависимости координаты тела, при прямолинейном равнопеременном движении от времени, имеет следующий вид (см. рисунок 7):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 39 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

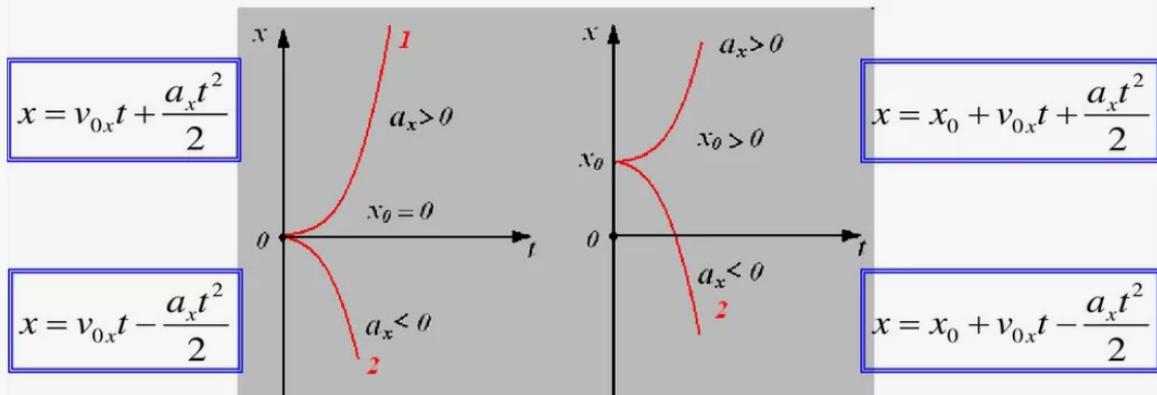


Рисунок 7

Так как  $x$  квадратично зависит от времени (2.14), график координаты при равнопеременном движении является участком параболы. Если ветвь параболы направлена вверх - тело ускоряется, вниз - тело тормозит.

Последней группой задач, изучаемой в теме «Основы кинематики», являются задачи на криволинейное движение (рассматривается частный случай движения материальной точки по окружности с постоянной по величине скоростью).

Пусть материальная точка движется по окружности радиуса  $R$ , с постоянной по величине скоростью  $\vec{v}$ , угол на который поворачивается радиус, проведенный к материальной точке, за промежуток времени  $\Delta t$  обозначим  $\Delta\varphi$  (см. рисунок 8):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 40 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

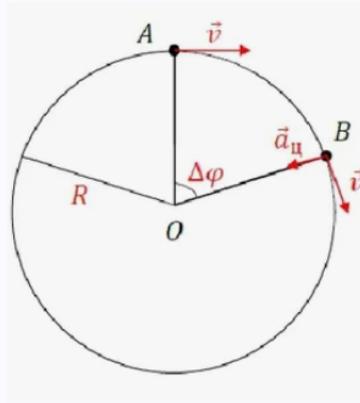


Рисунок 8

Большинство задач, рассматриваемых в данном разделе, являются количественными и при их решении используются следующие формулы:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (2.17)$$

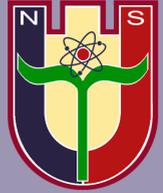
где  $\omega$  - угловая скорость.

$$v = \omega R \quad (2.18)$$

- связь между линейной и угловой скоростью.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.19)$$

где  $T$  - период.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 41 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (2.20)$$

где  $\nu$  - частота.

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (2.21)$$

где  $a_n$  - центростремительное ускорение.

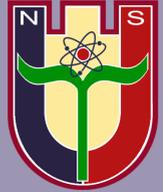
*Пример решения задачи.*

*Найдите центростремительное ускорение точек колеса мотоцикла, соприкасающихся с дорогой, если мотоцикл движется без проскальзывания со скоростью 72 км/ч и при этом частота вращения колеса  $8 \text{ с}^{-1}$ .*

*Так как мотоцикл движется без проскальзывания, линейная скорость точек колеса, соприкасающихся с дорогой, равна скорости мотоцикла:  $v = 72 \text{ км/ч} = 20 \text{ м/с}$ . Тогда для определения центростремительного ускорения можно воспользоваться формулой (2.21). Далее используя формулы (2.18), (2.19), (2.20) легко получить следующее выражение для радиуса:*

$$R = \frac{v}{2\pi\nu}$$

*подставляя данное выражение в формулу (2.21) окончательно получим:  $a = 2\pi\nu v = 1005 \text{ м/с}^2$ .*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 42 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 3.

### Решение задач по теме «Основы динамики».

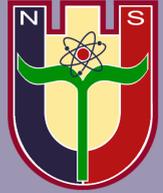
Общий квазиалгоритм решения задач по динамике. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Масса. Сила. Сложение сил. Второй и третий законы Ньютона. Сила упругости. Сила трения. Движение под действием силы трения. Сила гравитации. Сила тяжести. Вес тела. Перегрузки. Невесомость. Искусственные спутники. Движение связанных тел.

Литература: [1, с. 109–110], [6, с. 143–157], [8, с. 43–83]

Динамика – раздел механики, в котором устанавливаются законы взаимодействия тел друг с другом, и изучается влияние этих взаимодействий на механическое движение тел. Законы динамики позволяют рассчитать ускорение тел. Это вместе с кинематическими уравнениями движения, вполне достаточно для решения основной задачи механики – определения положения и скоростей тел в любой момент времени.

При изучении динамики в средней школе, также как и при изучении кинематики, обычно решают задачи в которых физические тела считают материальными точками.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие четыре группы физических задач, которые используются в процессе изучения динамики в средней школе:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 43 из 320

Назад

На весь экран

Закреть



## ТИПЫ ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ ДИНАМИКИ

### ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПО ВЕРТИКАЛИ

расчет параметров движения и взаимодействий при движении одного тела; расчет параметров движения и взаимодействий при движении двух и более тел.

### ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

расчет параметров движения и взаимодействий при движении одного тела; расчет параметров движения и взаимодействий при движении двух и более тел

### ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

расчет параметров движения и взаимодействий при движении одного тела; расчет параметров движения и взаимодействий при движении двух и более тел.

### ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПО ОКРУЖНОСТИ

расчет параметров движения и взаимодействий при движении тела.

При решении задач на законы Ньютона, целесообразно использовать первый закон Ньютона в следующей формулировке: материальная точка находится в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения если векторная сумма всех сил, действующих на тело равна нулю. В школьных физических задачах, в большинстве случаев рассматривают движение тел относительно поверхности Земли, считая ее инерциальной системой отсчета.

При решении задач школьного курса динамики принято пользоваться следующим общим квазиалгоритмом:

## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО ДИНАМИКЕ

1. Определите, с какими материальными объектами взаимодействует выделенная физическая система, и введите силы, характеризующие эти взаимодействия.
2. Изобразите на схематическом рисунке силы, действующие на физическую систему, и кинематические характеристики ее движения (скорость, ускорение, перемещение).
3. Спроецируйте векторные величины на оси  $OX$  и  $OY$  (одну из осей целесообразно направить по направлению ускорения), составьте соответствующие уравнения динамики и проверьте, является ли полученная система уравнений полной.
4. С учетом третьего закона Ньютона, закона Кулона-Амонтона, законов кинематики и специальных условий, заданных в задаче, составьте недостающие уравнения.
5. Получите решение системы уравнений в общем виде и проверьте размерность.
6. Подставьте численные значения и получите окончательный ответ.

*Следует помнить, что если в задаче рассматриваются движения нескольких тел, то второй закон Ньютона необходимо записать для каждого из них и учесть кинематические и динамические связи между характеристиками движения этих тел (например, равенство модулей ускорений тел, связанных между собой нерастяжимыми и невесомыми нитями, равенство сил действия и противодействия).*

В физике количественной мерой действия одного тела на другое является векторная величина, называемая *силой* (обозначается  $\vec{F}$ ). Обычно на тело одновременно действует несколько других тел. Одновременное действие на тело нескольких сил независимо от их природы эквивалентно действию на него одной *равнодействующей силы*, равной векторной сумме этих сил:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 45 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \quad (3.1)$$

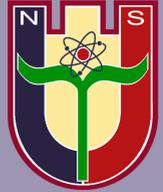
Для определения равнодействующей всех сил действующих на тело используют следующий алгоритм:

### КВАЗИАЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ НЕСКОЛЬКИХ СИЛ

1. Изобразите на рисунке все силы, действующие на тело.
2. Выберите взаимно перпендикулярные координатные оси  $Ox$  и  $Oy$  таким образом, чтобы большинство сил было параллельно этим осям и запишите проекции всех сил на эти оси.
3. Вычислите проекции  $F_x$  и  $F_y$  равнодействующей силы как алгебраические суммы проекций слагаемых сил.
4. Вычислите по теореме Пифагора модуль равнодействующей силы.

*Пример решения задачи.*

На вертолет действуют в вертикальном направлении сила тяжести  $F_1 = 540$  кН и подъемная сила  $F_2 = 550$  кН, а в горизонтальном направлении – сила тяги  $F_3 = 170$  кН и сила сопротивления воздуха  $F_4 = 140$  кН. Найти значение равнодействующей силы.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 46 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

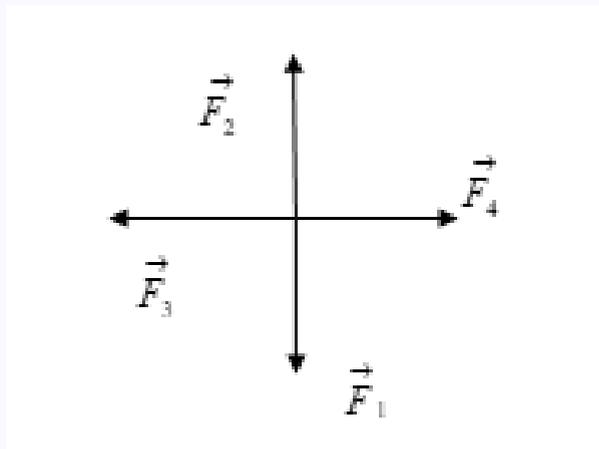
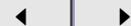


Рисунок 9

Согласно формуле (3.1):  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$ . В проекциях на ось  $OX$ :  $F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = F_3 - F_4 = 30 \text{ кН}$ . В проекциях на ось  $OY$ :  $F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} = F_2 - F_1 = 10 \text{ кН}$ . Тогда  $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 10 \text{ кН}$ .

Основу динамики составляют три закона Ньютона.

*Первый закон Ньютона*: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие других тел не выведет его из этого состояния.

*Второй закон Ньютона*: ускорение  $\vec{a}$ , приобретаемое телом под действием силы  $\vec{F}$ , направлено так же, как сила, а по величине прямо про-

порционально силе и обратно пропорционально массе тела  $m$ .

При решении школьных физических задач второй закон Ньютона записывают в виде:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (3.2)$$

где  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$  - векторная сумма (равнодействующая) всех сил, действующих на тело.

*Третий закон Ньютона:* два взаимодействующих тела действуют друг на друга с силами, равными по величине и противоположными по направлению

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3.3)$$

*Пример решения задачи.*

На тело массой 2 кг под углами к оси  $Ox$  30, 45 и 60 градусов действуют расходящиеся силы  $F_1 = 5$  Н,  $F_2 = 10$  Н и  $F_3 = 20$  Н соответственно. Найти значение ускорения.

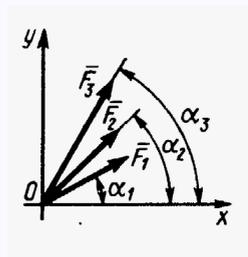


Рисунок 10



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 48 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Согласно второму закону Ньютона (3.2) можно записать:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = m\vec{a}$ . Воспользовавшись рисунком к задаче (см. рисунок 10) запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ . Получим:  $F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = ma_x$  и  $F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = ma_y$ .

Тогда:

$$a_x = \frac{F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}}{m}$$

Аналогично:

$$a_y = \frac{F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}}{m}$$

Воспользовавшись тем, что  $F_{1x} = F_1 \cos \alpha_1$ ,  $F_{2x} = F_2 \cos \alpha_2$ ,  $F_{3x} = F_3 \cos \alpha_3$ ,  $F_{1y} = F_1 \sin \alpha_1$ ,  $F_{2y} = F_2 \sin \alpha_2$ ,  $F_{3y} = F_3 \sin \alpha_3$  можно легко вычислить, что  $a_x = 11\text{ м/с}^2$ ,  $a_y = 13\text{ м/с}^2$ . Тогда  $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 17\text{ м/с}^2$ .

В школьном курсе динамики рассматриваются два вида взаимодействия между телами: гравитационное и электромагнитное. Данные виды взаимодействия описываются при помощи трех сил: силы тяготения (гравитации), силы упругости и силы трения. Используемые при решении физических задач сила реакции опоры, сила натяжения нити, сила давления, вес тела и сила тяжести являются их частными случаями.

Сила может деформировать тело - сместить составляющие его частицы относительно друг друга. В соответствии с третьим законом Ньютона



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 49 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

внутри тела возникает противодействующая сила противоположная по направлению деформирующей силе. Данную силу называют *силой упругости*. Величина силы упругости возникающей при малых деформациях определяется законом Гука:

$$F = k|\Delta l| \quad (3.4)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности, называемый жесткостью или коэффициентом жесткости;  $\Delta l$  - величина деформации (смещение).

*Пример решения задачи.*

*Груз массой 1 кг за 1 с подняли на высоту 1 м. Найдите удлинение пружины. Коэффициент жесткости  $k = 100 \text{ Н/м}$ .*

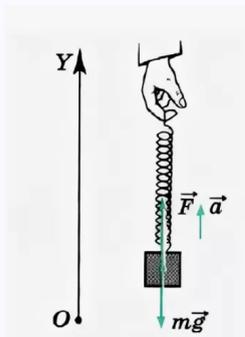


Рисунок 11



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 50 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Согласно второму закону Ньютона (3.2) можно записать:  $\vec{F} + m\vec{g} = m\vec{a}$ . Воспользовавшись рисунком к задаче (см. рисунок 11) запишем данное векторное уравнение в проекциях на ось OY. Получим:  $F - mg = ma$ .

Воспользовавшись формулой для силы упругости (3.4) и формулой для пути при равноускоренном движении (2.15) можно записать:

$$k\Delta l - mg = \frac{2hm}{t^2}$$

Окончательно:

$$\Delta l = \frac{2hm}{kt^2} + \frac{mg}{k}$$

Подставив в формулу значения величин из условия получим  $\Delta l = 0,24$  м.

Пример решения задачи.

Грузовик взял на буксир легковой автомобиль массой 2 т и, двигаясь равноускоренно, за 50 с проехал 400 м. Найдите жесткость троса если он удлинился при этом на 1,6 мм. Трение не учитывать.

Воспользовавшись вторым законом Ньютона (3.2) запишем:  $\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ . Сделаем рисунок к задаче (см. рисунок 12) и запишем данное векторное уравнение в проекциях на ось OX. Получим:  $F = ma$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 51 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

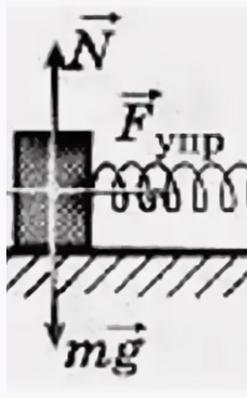


Рисунок 12

Воспользовавшись формулой для силы упругости (3.4) и формулой для пути при равноускоренном движении (2.15) можно записать:

$$k\Delta l = \frac{2sm}{t^2}$$

Окончательно:

$$k = \frac{2sm}{\Delta l t^2}$$

Подставив в формулу значения величин из условия, получим  $k = 2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 52 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Пример решения задачи.

По гладкой горизонтальной поверхности, по окружности радиусом 50 см, на пружине движется шарик массой 300 г. Период обращения шарика 3,14 с. Определите удлинение пружины, если ее жесткость 100 Н/м.

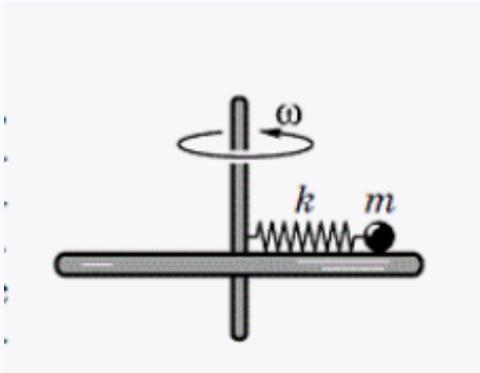


Рисунок 13

Воспользовавшись вторым законом Ньютона (3.2) запишем:  $\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ . Запишем данное векторное уравнение в проекциях на ось  $OX$ . Получим:  $F = ma$ .

Воспользовавшись формулой для силы упругости (3.4) и формулами: (2.21), (2.18), (2.19), можно записать

$$k\Delta l = \frac{4\pi^2 m R}{T^2}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 53 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Окончательно:

$$\Delta l = \frac{4\pi^2 m R}{k T^2}$$

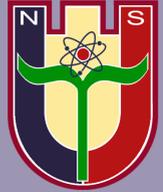
Подставив в формулу значения величин из условия, получим  $\Delta l = 6$  мм.

*Трение покоя* - трение, возникающее между соприкасающимися, но неподвижными относительно друг друга телами при попытке сдвинуть одно из них. Сила трения покоя  $F_n$  равна по модулю и противоположна по направлению тангенциальной составляющей внешней силы, приложенной к данному телу и стремящейся сдвинуть его с места. С увеличением модуля внешней силы сила трения покоя  $F_n$  точно также возрастает и достигает своего максимального по модулю значения  $F_{max}$  перед тем моментом, когда тело сдвигается с места:

$$0 \leq F_n \leq F_{max} \quad (3.5)$$

*Максимальная сила трения покоя* прямо пропорциональна модулю силы нормальной реакции опоры:

$$F_{max} = \mu_0 N \quad (3.6)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 54 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

где  $\mu_0$  - коэффициент трения покоя.

*Трение скольжения* - трение, возникающее между соприкасающимися телами при движении одного тела по поверхности другого.

*Сила трения скольжения* - также прямо пропорциональна модулю силы нормальной реакции опоры:

$$F_{тр} = \mu N \quad (3.7)$$

где  $\mu$  - коэффициент трения скольжения.

*Пример решения задачи.*

*Тело массой 2 кг находится на горизонтальной плоскости. На тело действует горизонтальная сила 3 Н. Определите силу трения, если коэффициент трения 0,3.*

*Стандартная ошибка заключается в том, что для силы трения не задумываясь, применяют формулу (3.6). Так как  $N - mg = 0$  получают:  $F_{тр} = \mu mg = 6 \text{ Н}$ , что больше горизонтальной силы, действующей на тело. Для определения силы трения надо в первую очередь руководствоваться выражением (3.5). В нашем случае возникающая сила трения меньше максимальной силы трения покоя в 6 Н. Она равна по величине, действующей на тело горизонтальной силе, то есть - 3Н.*

*Пример решения задачи.*

*Брусок массой 4 кг тянут по горизонтальной поверхности, прикла-*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 55 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

дывая силу  $10\text{ Н}$  под углом  $60$  градусов к горизонту. При этом брусок за время  $5\text{ с}$  увеличил свою скорость от  $1\text{ м/с}$  до  $3\text{ м/с}$  двигаясь в одну сторону. Найти коэффициент трения бруска о поверхность.

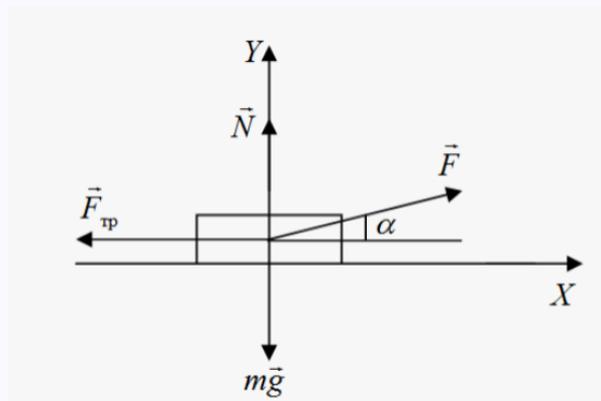


Рисунок 14

Воспользовавшись вторым законом Ньютона (3.2) запишем:  $\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ . Запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ . Получим:  $F \cos \alpha - F_{тр} = ma$  и  $F \sin \alpha + N - mg = 0$ .

Воспользовавшись формулой для силы трения (3.7), из системы из трех уравнений легко получить:

$$\mu = \frac{F \cos \alpha - ma}{mg - F \sin \alpha}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 56 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Рассчитав по формуле (2.12) значение ускорения и подставив его вместе с другими известными величинами в формулу для коэффициента трения, получим  $\mu = 0,1$ .

*Пример решения задачи.*

С какой, нормально направленной, силой нужно прижать к вертикальной стене брусок массой 1 кг, чтобы он покоился. Коэффициент трения равен 0,1.

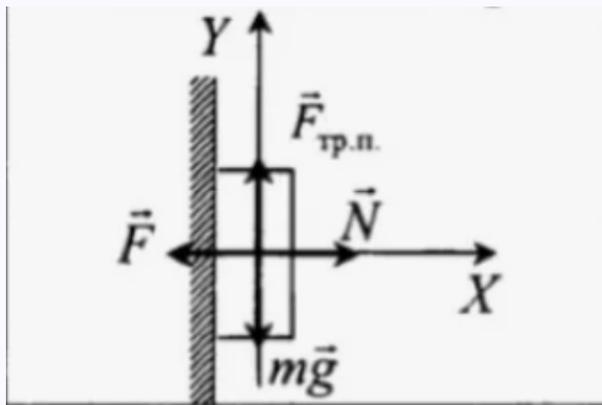


Рисунок 15

Так как брусок находится в покое, векторная сумма всех действующих на него сил равна нулю:  $\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = 0$ . Запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ . Получим:  $N - F = 0$  и  $mg - F_{\text{тр}} = 0$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 57 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Воспользовавшись формулой для силы трения(3.6), из системы из трех уравнений легко получить:

$$F = \frac{mg}{\mu}$$

Подставив в последнее выражение значения величин, получим:  $F = 100\text{H}$ .

*Пример решения задачи.*

Найдите ускорение, с которым спускается тело, по наклонной плоскости с углом наклона  $60$  градусов. Коэффициент трения равен  $0,1$ .

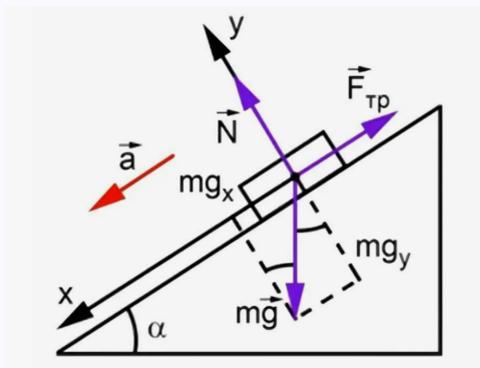


Рисунок 16

Воспользовавшись вторым законом Ньютона (3.2) запишем:  $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 58 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 16) запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ :  $mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma$  и  $N - mg \cos \alpha = 0$ . Воспользовавшись формулой для силы трения (3.7), из системы из трех уравнений легко получить:

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

Подставив в последнее выражение значения величин, получим:  $a = 8,2 \text{ м/с}^2$ .

Пример решения задачи.

С какой минимальной скоростью должен двигаться мотоцикл, внутри металлической цилиндрической сетки, чтобы трюк удался. Радиус сетки равен  $10 \text{ м}$ . Коэффициент трения равен  $0,25$ .

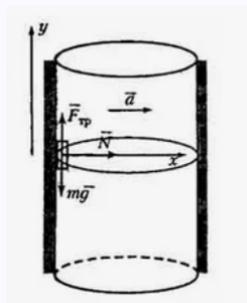


Рисунок 17



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 59 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Воспользовавшись вторым законом Ньютона (3.2) запишем:  $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ .

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 17) запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ :  $N = ma$  и  $mg - F_{тр} = 0$ . Воспользовавшись формулой для силы трения (3.7), а так же формулой для центростремительного ускорения (2.21), из полученной системы уравнений легко получить:

$$v = \sqrt{\frac{gR}{\mu}}$$

Подставив в последнее выражение значения величин, получим:  $v = 20 \text{ м/с}$ .

Сила тяготения (гравитационная сила (от латинского слова *gravitas* - тяжесть)) - сила с которой притягиваются друг к другу физические тела во Вселенной. Данное взаимодействие тел осуществляется посредством гравитационного поля (поля тяготения). Гравитационное взаимодействие материальных точек описывается законом всемирного тяготения, открытым Ньютоном. Согласно этому закону две материальные точки притягиваются друг к другу с силой:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.8)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 60 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

где  $\gamma$  - гравитационная постоянная,  $m_1$  и  $m_2$  - массы материальных точек,  $r$  - расстояние между ними.

Вблизи поверхности Земли все тела падают с одинаковым ускорением, которое называют *ускорение свободного падения* и обозначают  $\vec{g}$ . Среднее значение ускорения свободного падения определяется выражением:

$$g = \gamma \frac{M}{R^2} \quad (3.9)$$

где  $\gamma$  - гравитационная постоянная,  $M$  - масса планеты (Земли),  $R$  - радиус планеты (Земли).

С ростом высоты над поверхностью планеты ускорение свободного падения убывает:

$$g = \gamma \frac{M}{(R + h)^2} \quad (3.10)$$

Таким образом, в системе отсчета связанной с Землей, на всякое тело действует сила, получившая название - *сила тяжести*:

$$\vec{F} = m\vec{g} \quad (3.11)$$

Данная сила является составляющей силы тяготения, которую вследствие вращения Земли можно разложить на две силы, та, которая направлена по отвесу и является силой тяжести.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 61 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Силу тяжести не следует путать с весом тела. *Вес тела* - это сила, с которой тело действует на подвес или опору вследствие гравитационного притяжения к Земле, а сила тяжести это сила, действующая на тело вблизи поверхности Земли, вследствие гравитационного притяжения к планете. Сила тяжести имеет гравитационную природу, вес тела электромагнитную. У данных сил разные точки приложения. Если опора или подвес покоятся, или движутся с постоянной по величине скоростью, вес равен по значению силе тяжести. Иначе вес тела может уменьшаться (и вообще стать равным нулю - *невесомость*) или увеличиваться.

При движении спутника по круговой орбите на высоте  $h$  над поверхностью планеты сила гравитации создает центростремительное ускорение. Воспользовавшись вторым законом Ньютона (3.2) и законом всемирного тяготения (3.8) можно получить формулу для определения скорости движения спутника по орбите:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M}{R + h}} \quad (3.12)$$

*Пример решения задачи.*

*Две материальные точки находятся на некотором расстоянии друг от друга. Как изменится сила гравитационного взаимодействия между материальными точками, если массу каждой из них и расстояние*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 62 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

между ними увеличить в три раза?

Воспользовавшись законом всемирного тяготения (3.8) получим формулы для силы тяготения в первом и во втором случаях:

$$F_1 = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F_2 = \gamma \frac{3m_1 3m_2}{9r^2}$$

Разделив второе уравнение на первое, получим  $\frac{F_2}{F_1} = 1$ . То есть - сила не изменится.

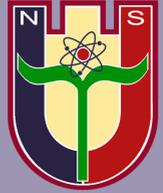
*Пример решения задачи.*

Какое расстояние пройдет тело, свободно падая без начальной скорости в течение 4 с у поверхности планеты, радиус которой и средняя плотность вещества на одну треть меньше радиуса Земли и средней плотности Земли соответственно.

Воспользовавшись формулой для пути при равноускоренном движении (2.15), с учетом того, что начальная скорость тела равна нулю, получим:

$$s = \frac{g_n t^2}{2}$$

где  $g_n$  - ускорение свободного падения у поверхности планеты. Выразим ускорение свободного падения через среднюю плотность вещества планеты  $\rho_n$ :



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 63 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$g_n = \gamma \frac{M_n}{R_n^2} = \frac{4}{3} \pi \gamma \rho_n R_n$$

где  $M_n = \rho_n V_n$ , а  $V_n = \frac{4}{3} \pi R_n^3$

Запишем в таком же виде ускорение свободного падения на Земле:

$$g_3 = \frac{4}{3} \pi \gamma \rho_3 R_3$$

Тогда легко получить, что:

$$g_n = g_3 \frac{\rho_n R_n}{\rho_3 R_3} = \frac{g_3}{9}$$

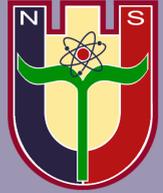
Подставляя это в формулу для пути, с учетом того, что  $g = 10 \text{ м/с}^2$  получим:  $s = 8,9 \text{ м}$ .

Пример решения задачи.

Ракета при старте имеет ускорение  $20 \text{ м/с}^2$ . Найдите вес космонавта, масса которого  $70 \text{ кг}$ .

Согласно третьему закону Ньютона (3.3), вес космонавта  $\vec{P}$  равен по величине и противоположен по направлению силе нормальной реакции опоры  $\vec{P} = -\vec{N}$ . Таким образом нахождение веса космонавта фактически сводится к нахождению силы нормальной реакции опоры.

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 18) запишем второй закон Ньютона (3.2):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 64 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

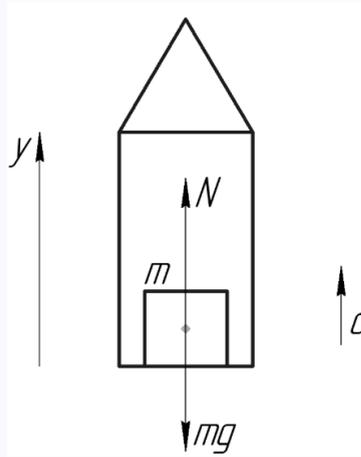


Рисунок 18

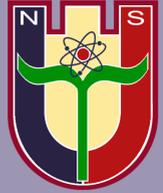
$$m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$$

Запишем данное векторное уравнение в проекциях на ось  $OY$ :  $N - mg = ma$  откуда  $N = m(g + a)$  и  $P = 2100\text{H}$ .

*Пример решения задачи.*

*Во сколько раз период обращения спутника, вращающегося на расстоянии 21600 км от поверхности Земли, больше периода обращения спутника, движущегося на расстоянии 600 км от ее поверхности? Радиус Земли равен 6400 км.*

*Воспользовавшись вторым законом Ньютона (3.2), законом всемир-*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 65 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

ного тяготения (3.8) и формулами (2.21), (2.18), (2.19) получим следующие выражения для первого и второго спутников:

$$\gamma \frac{Mm_1}{r_1^2} = m_1 \frac{4\pi^2}{T_1^2}$$

$$\gamma \frac{Mm_2}{r_2^2} = m_2 \frac{4\pi^2}{T_2^2}$$

где  $r_1 = R + h_1$  и  $r_2 = R + h_2$ .

Разделив одно уравнение на другое, легко получить:  $\frac{T_1}{T_2} = 8$ .

В школьном курсе механики часто встречаются задачи на движение связанных тел. При решении задач, в которых рассматривается движение системы связанных между собой тел, необходимо записать уравнения движения (второй закон Ньютона) для каждого тела в отдельности. Также записывают уравнения, выражающие кинематические условия, которые связывают ускорения отдельных тел системы. В результате получают систему уравнений, в которой число уравнений равно числу неизвестных величин. Если тела связаны нитью, массой которой можно пренебречь, силу натяжения нити считают одинаковой по всей ее длине. Если нить перекинута через блок, то равенство сил натяжения со стороны соседних частей нити выполняется только в том случае, когда можно пренебречь массами нити



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 66 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

и блока, а также силами трения, которые возникают при вращении блока.

*Пример решения задачи.*

*По гладкой горизонтальной поверхности движутся два тела, связанные невесомой и нерастяжимой нитью, под действием силы  $18\text{ Н}$ , приложенной к первому телу и направленной под углом  $60^\circ$  к горизонту. Чему равна сила натяжения нити, если масса первого тела в 2 раза больше массы второго?*

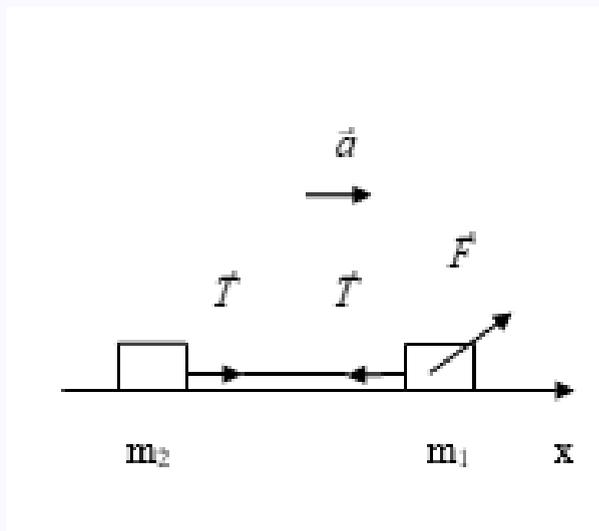


Рисунок 19



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 67 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 19), запишем в проекциях на ось  $Ox$  второй закон Ньютона (3.2) для каждого из тел:

$$F \cos \alpha - T = m_1 a$$

$$T = m_2 a$$

Разделив первое уравнение на второе легко получить, что  $T = 9 \text{ Н}$ .

Пример решения задачи.

Через блок с неподвижной осью перекинута невесомая и нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы массами  $0,4 \text{ кг}$  и  $0,6 \text{ кг}$ . Найдите ускорение грузов.

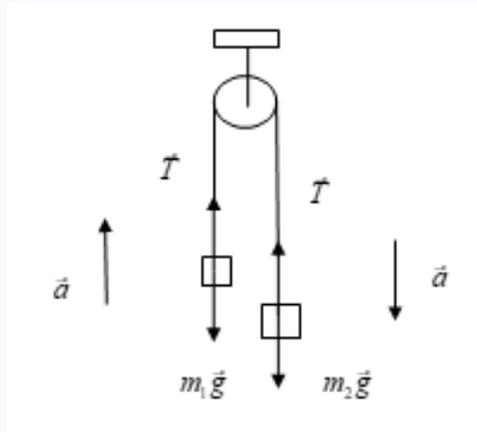
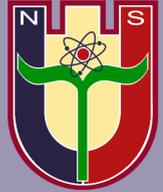


Рисунок 20



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 68 из 320

Назад

На весь экран

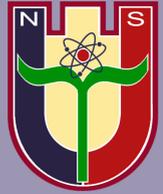
Закреть

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 20), запишем в проекциях на ось  $OY$  второй закон Ньютона (3.2) для каждого из тел:

$$T - m_1g = m_1a$$

$$m_2g - T = m_2a$$

Сложив уравнения легко получить, что  $a = 2m/c^2$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 69 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 4. Решение задач по теме «Основы статики».

Условия равновесия тел. Момент силы. Простые механизмы. Рычаги. Блоки. Наклонная плоскость. «Золотое правило механики». Коэффициент полезного действия (КПД) механизма. Центр тяжести тела. Виды равновесия. Давление. Гидростатическое давление. Действие жидкости и газа на погруженные в них тела. Выталкивающая сила. Закон Архимеда. Плавание судов. Воздухоплавание.

Литература: [1, с. 112–113], [6, с. 160–168], [8, с. 120–146]

*Статика* - раздел механики, в котором изучают условия равновесия твердых тел.

*Первое условие равновесия*: векторная сумма всех сил приложенных к телу должна быть равна нулю

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0 \quad (4.1)$$

*Второе условие равновесия*: алгебраическая сумма моментов всех сил приложенных к телу должна быть равна нулю

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0 \quad (4.2)$$

где:

$$M = \pm Fl \quad (4.3)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 70 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

-  $F$  - сила, стремящаяся повернуть тело вокруг данной оси;  $l$  - плечо силы - кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы (см. рисунок 21):

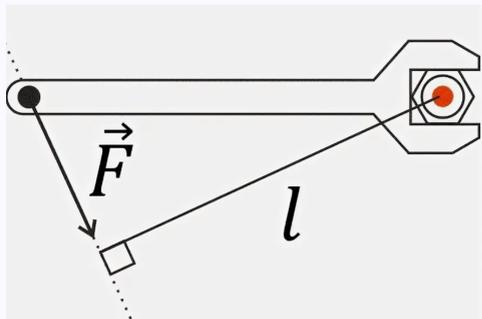


Рисунок 21

Момент силы в уравнении (4.2) может быть положительным или отрицательным (4.3). Знак « $-$ » обычно ставят, когда сила пытается повернуть тело по ходу часовой стрелки, а знак « $+$ » - если против хода.

Статистические процессы представляют собой частный случай динамических процессов, при которых отсутствует ускорение, поэтому правила решения задач по статике практически не отличаются от правил решения задач по динамике.

Кроме условий равновесия, в теме «Основы статики», рассматриваются отдельные задачи по гидроаэростатике. Таким образом, анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 71 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

шесть групп физических задач, которые используются в процессе изучения статики в учреждениях общего среднего образования:



При решении физических задач школьного курса статики удобно пользоваться следующим общим квазиалгоритмом:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 72 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО СТАТИКЕ



1. Выясните, с какими материальными объектами взаимодействует физическая система, и замените эти взаимодействия силами.
2. Запишите условия равновесия физической системы (или одно из них).
3. Покажите на схематическом рисунке все силы, действующие на физическую систему; точку, относительно которой записано уравнение моментов и плечи всех сил относительно этой точки (если при решении задачи используется второе условие равновесия).
4. Спроецируйте векторные величины на оси  $Ox$  и  $Oy$ , составьте уравнения моментов и проверьте, является ли полученная система уравнений полной (при необходимости составьте недостающие уравнения).

*Помните, что, если моделью физической системы является материальная точка или абсолютно твердое тело, вращение которого запрещено наложенными на него связями, то для решения задачи достаточно первого условия равновесия. Если моделью физической системы являются абсолютно твердое тело, ось вращения которого закреплена, то первое условие равновесия выполняется автоматически и для решения задачи достаточно второго условия.*

Рассмотрим примеры решения типовых задач на первое условие равновесия и правило моментов.

*Пример решения задачи.*

*На наклонной плоскости с углом наклона  $30$  градусов лежит тело массой  $3$  кг. Найдите коэффициент трения.*

*Используя рисунок к задаче (см. рисунок 22), запишем первое условие равновесия(4.1) :*

$$\vec{N} + m\vec{g} + F_{T\vec{r}} = 0$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 73 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

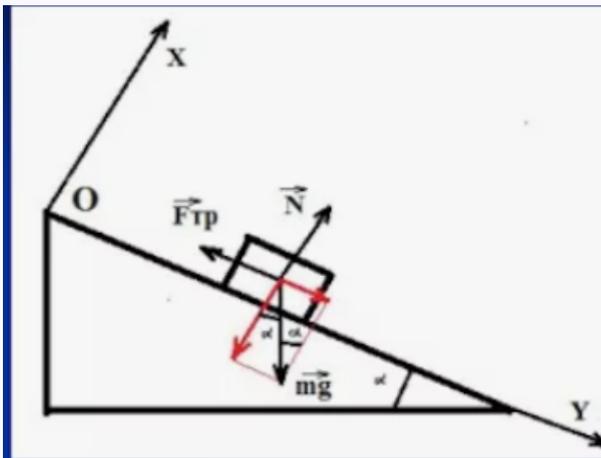


Рисунок 22

Запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ :  
 $mg \sin \alpha - F_{тр} = 0$  и  $N - mg \cos \alpha = 0$ . Воспользовавшись формулой для силы трения (3.7), из системы из трех уравнений легко получить:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Пример решения задачи.

Бревно массой 100 кг лежит на земле. Какую силу необходимо приложить к бревну, чтобы приподнять его за один из концов?

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 23), запишем второе условие равновесия (4.2) :



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 74 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

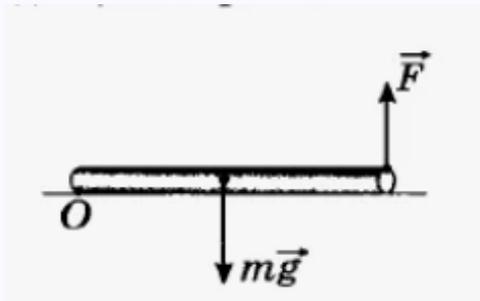


Рисунок 23

$$M_1 + M_2 = 0$$

Из формулы (4.3), с учетом правила знаков, получим:

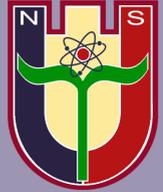
$$Fl - mg\frac{l}{2} = 0$$

Окончательно:

$$F = \frac{1}{2}mg = 500\text{H}$$

*Пример решения задачи.*

*Балка, массой 50 кг, один конец, которой упирается в угол между полом и стеной, привязана за второй конец веревкой к крюку на потолке, перпендикулярно балке. Найдите силу натяжения веревки.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 75 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

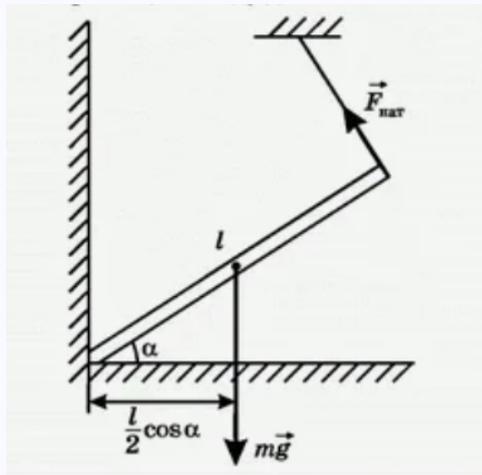


Рисунок 24

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 24), запишем второе условие равновесия (4.2) :

$$M_1 + M_2 = 0$$

Из формулы (4.3), с учетом правила знаков, получим:

$$Fl - mg \frac{l}{2} \cos \alpha = 0$$

Окончательно, с учетом, что угол  $\alpha = 45$  градусов:

$$F = \frac{1}{2} mg \cos \alpha = 354 \text{ Н}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 76 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

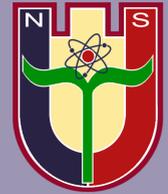
Вторая группа задач - это задачи на простые механизмы. У любых сложных устройств механическая часть состоит из комбинации простых механизмов: рычагов, блоков, наклонных плоскостей и т.д.

В школьном курсе физики рассматривают рычаги *первого* и *второго* рода (см. рисунок 25):



Рисунок 25

Используя правило моментов (4.2) можно получить, что в обоих случаях рычаг дает выигрыш в силе:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 77 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

$$F_1 = F_2 \frac{l_2}{l_1} \quad (4.4)$$

Рассмотрим блоки (см. рисунок 26):

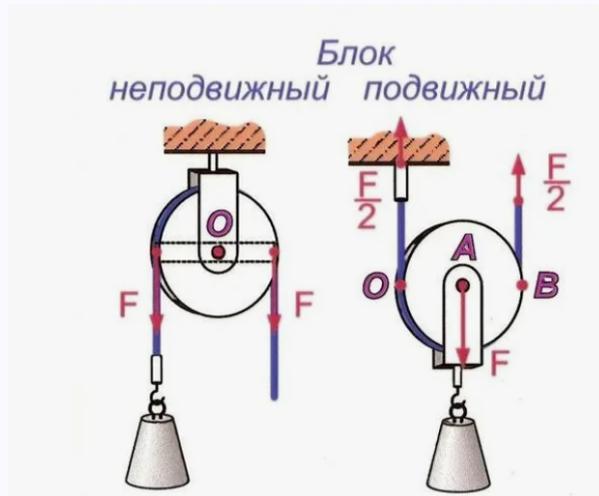
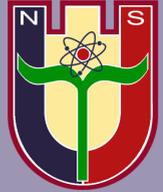


Рисунок 26

*Неподвижный блок* не дает выигрыша в силе, а лишь меняет ее направление, что удобно при транспортировке груза. *Подвижный блок* дает выигрыш в силе в 2 раза (идеальный случай, в отсутствии трения). Данный вывод легко подтвердить, используя все тоже правило моментов (4.2). Соединив пары неподвижных и подвижных блоков (*полиспаст*) можно добиться значительного выигрыша в силе.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 78 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Выигрыш в силе дает и еще один простой механизм - *наклонная плоскость* (см. рисунок 27):

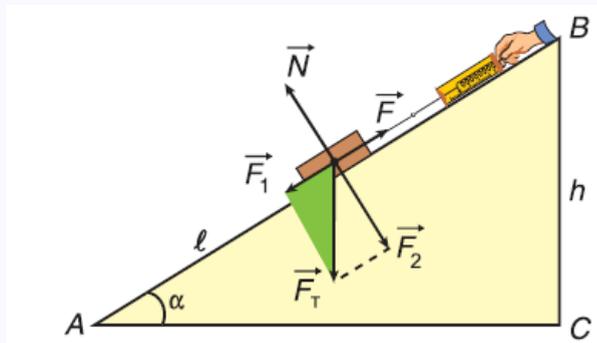


Рисунок 27

Используя первое условие равновесия (4.1) для наклонной плоскости (без трения) можно получить:

$$F = F_T \frac{h}{l} \quad (4.5)$$

где  $F_T = mg$  - сила тяжести.

Наклонная плоскость, как и любой другой механизм, не дает выигрыша в работе даже в идеальном случае (отсутствие трения):  $A_n = A_c$ , где  $A_n$  - полезная работа,  $A_c$  - совершенная работа. В реальных условиях, из-за трения:  $A_n < A_c$ . Поэтому, так называемый, *коэффициент полезного действия (КПД)* механизма всегда меньше единицы.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 79 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

КПД ( $\eta$ ) механизма, выраженный в процентах, равен:

$$\eta = \frac{A_n}{A_c} 100\% \quad (4.6)$$

*Пример решения задачи.*

*Груз, массой 40 кг, удерживают с помощью рычага, приложенной к его концу, направленной вертикально вниз силой в 250 Н. Масса рычага 20 кг. Длина рычага 2 м. Найдите расстояние от точки опоры до точки подвеса груза.*

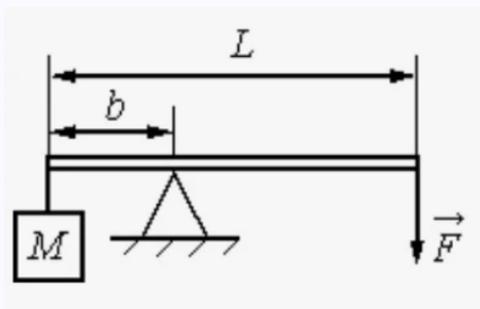


Рисунок 28

*Используя рисунок к задаче (см. рисунок 28), запишем второе условие равновесия (4.2) :*

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 80 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Из формулы (4.3), с учетом правила знаков, получим:

$$MgL - FL - mg\left(\frac{L}{2} - b\right) = 0$$

Окончательно, раскрыв скобки и выразив  $b$ , получим:  $b = 0,5 \text{ м}$ .

Пример решения задачи.

Какую силу нужно приложить к веревке, чтобы равномерно поднять при помощи подвижного блока груз массой 30 кг.

Сделаем рисунок к задаче (см. рисунок 29):

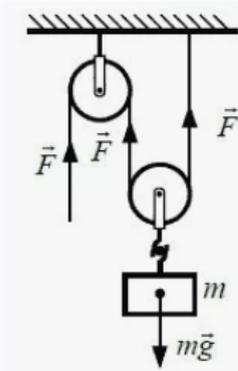


Рисунок 29

Используя рисунок к задаче, запишем первое условие равновесия (4.1):

$$\vec{F} + \vec{F} + m\vec{g} = 0$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 81 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Тогда, в проекциях на ось  $OY$ :

$$2F - mg = 0$$

Окончательно:

$$F = \frac{mg}{2} = 150\text{H}$$

Пример решения задачи.

Найдите КПД наклонной плоскости с углом наклона  $30$  градусов. Коэффициент трения равен  $0,2$ .

Сделаем рисунок к задаче (см. рисунок 30):

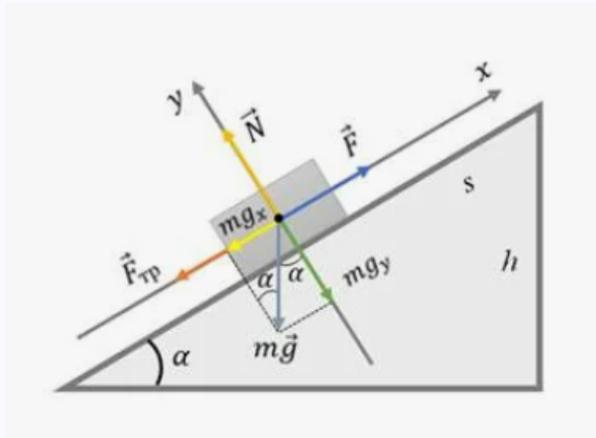
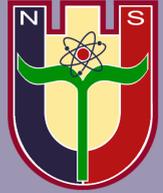


Рисунок 30



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 82 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Используя формулу (4.6) запишем:

$$\eta = \frac{A_n}{A_c} 100\%$$

где  $A_n = mgh = mgss\sin\alpha$ , а  $A_c = Fs$ .

Используя рисунок к задаче (см. рисунок 30), запишем:

$$\vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{Tp} = 0$$

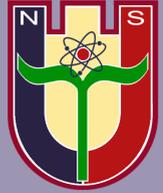
Запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ :  
 $F - mg \sin \alpha - F_{mp} = 0$  и  $N - mg \cos \alpha = 0$ . Воспользовавшись формулой для силы трения (3.7), из системы из трех уравнений легко получить:

$$F = mg(\sin\alpha + \mu \cos \alpha)$$

Подставив все в формулу для КПД, получим:

$$\eta = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha + \mu \cos \alpha} 100\% = 64\%$$

Следующая группа задач - это задачи на центр тяжести. *Центром тяжести* тела называется точка приложения силы тяжести, действующей на тело. У однородных тел правильной геометрической формы центр тяжести находится в геометрическом центре тела (см. рисунок 31):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 83 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

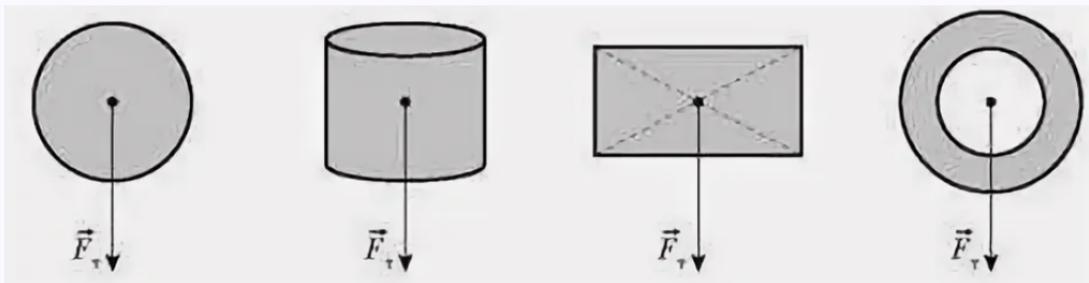


Рисунок 31

Положение центра тяжести тела произвольной формы находят путем расчетов, используя правило моментов.

*Пример решения задачи.*

*Найдите центр тяжести двух спаянных металлических шаров? радиусами по 30 см каждый. Масса одного из шаров в два раза больше массы другого шара.*

*Сделаем рисунок к задаче (см. рисунок 32):*

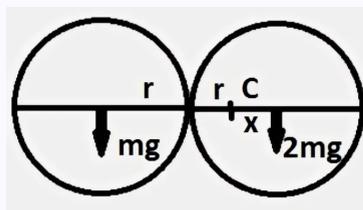


Рисунок 32



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 84 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Очевидно, что положение центра тяжести, точка  $C$  (см. рисунок 31), сместится к центру более массивного шара. Используя правило моментов (4.2), найдем расстояние  $x$  от центра этого шара до точки  $C$ .

$$2mgx = mg(2r - x)$$

Тогда:

$$x = \frac{2}{3}r = 20\text{см}$$

Последняя группа задач - это задачи на гидростатическое давление и силу Архимеда.

*Давление* – скалярная физическая величина равная отношению модуля силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности:

$$P = \frac{F}{S} \quad (4.7)$$

Давление в жидкости передается во все стороны одинаково (*закон Паскаля*).

*Гидростатическое давление* – давление покоящейся жидкости в какой-либо точке, обусловленное слоем вышележащей жидкости. Гидростатическое давление несжимаемой жидкости на глубине  $h$  равно весу вертикального столба жидкости единичного сечения:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 85 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

$$P = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho g V}{S} = \rho g h \quad (4.8)$$

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила (сила Архимеда), равная весу объема жидкости или газа, вытесненного частью тела, погруженной в жидкость или газ:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{п}} \quad (4.9)$$

*Пример решения задачи.*

*В сообщающиеся сосуды с ртутью долили: в один сосуд столб масла высотой 30 см, в другой сосуд столб воды высотой 20 см. Определите разность уровней ртути в сосудах. Плотность ртути составляет  $13600 \text{ кг/м}^3$ , масла -  $900 \text{ кг/м}^3$ .*

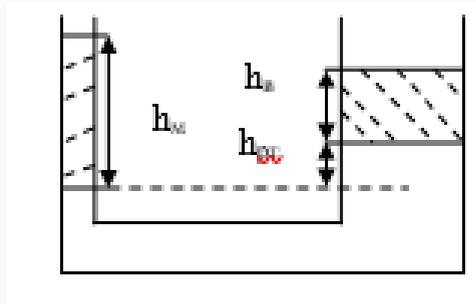
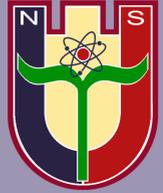


Рисунок 33



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 86 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Предполагая, что граница с маслом находится ниже, чем граница с водой (см. рисунок 33), приравняем давления на горизонтальном уровне, проходящем по границе ртути и масла (равенство давлений на одном уровне - следствие закона Паскаля):

$$p_M = p_{рт} + p_B$$

Воспользовавшись формулой (4.8), получим:

$$\rho_M g h_M = \rho_{рт} g h_{рт} + \rho_B g h_B$$

Откуда находим разность уровней ртути в сосудах:

$$h_{рт} = \frac{\rho_M h_M - \rho_B h_B}{\rho_{рт}} = 5 \text{ мм}$$

Пример решения задачи.

Полый шар плавает в жидкости, наполовину погружившись в нее. Какую долю объема шара (в процентах) составляет его внутренняя полость? Плотность жидкости в два раза меньше плотности вещества шара.

Сделаем рисунок к задаче (см. рисунок 34), обозначив на нем все силы, действующие на шар. Из первого условия равновесия (4.1):

$$m\vec{g} + \vec{F}_A = 0$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 87 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

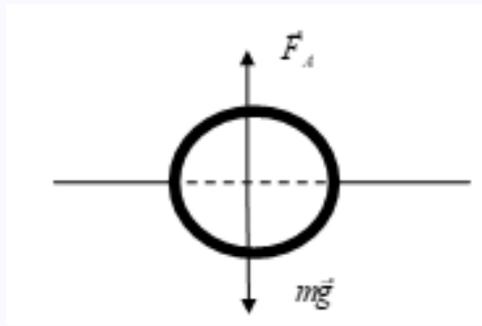


Рисунок 34

Следовательно:

$$F_A = mg$$

Используя формулу для силы Архимеда (4.9) легко прийти к уравнению:

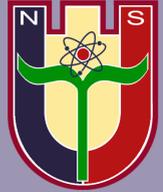
$$\rho_{\text{ж}} g \frac{V}{2} = \rho_{\text{ш}} g (V - V_1)$$

где  $V$  - объем шара, а  $V_1$  - объем его полости.

Из последнего уравнения найдем отношение:

$$\frac{V_1}{V} = 0,75$$

Следовательно внутренняя полость занимает 75% объема шара.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 88 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

## Лекция 5.

### Решение задач по теме «Законы сохранения в механике».

Импульс тела. Импульс физической системы. Теорема об изменении импульса. Закон сохранения импульса. Неупругие столкновения. Механическая работа. Мощность. КПД. Кинетическая и потенциальная энергия. Теорема об изменении кинетической энергии. Полная энергия системы. Закон сохранения энергии. Упругие столкновения.

Литература: [1, с. 110–112], [6, с. 194–198], [8, с. 84–119]

В школьном курсе физики изучаются несколько фундаментальных законов сохранения. В курсе механики девятого класса это закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии, который является частным случаем универсального закона сохранения и превращения энергии.

Понятия импульс и энергия имеют исключительно важное значение при изучении всего школьного курса физики в целом. Закон сохранения энергии, кроме механики применяется при решении задач в термодинамике, электричестве и магнетизме, колебаниях и волнах, в элементах квантовой оптики (фотоэффект), физике ядра.

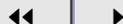
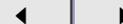
Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие три группы физических задач, которые используются в процессе изучения темы «Законы сохранения в механике»:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 89 из 320

Назад

На весь экран

Закреть



## ТИПЫ ЗАДАЧ ПО ЗАКОНАМ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

### ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Импульс тела. Импульс физической системы. Теорема об изменении импульса. Закон сохранения импульса. Неупругие столкновения.

### РАБОТА И МОЩНОСТЬ СИЛЫ

Работа постоянной силы. Мощность. КПД.

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Механическая потенциальная и кинетическая энергии. Теорема об изменении кинетической энергии. Полная энергия системы. Закон сохранения энергии. Упругие столкновения.

Первая группа задач - это задачи связанные с понятиями импульс тела и импульс механической системы.

Второй закон Ньютона можно записать в другой форме. На основании формул (2.9) и (3.2):

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (5.1)$$

где

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (5.2)$$

импульс тела,

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \quad (5.3)$$

При решении физических задач, для вычисления изменения импульса тела, необходимо выбрать инерциальную систему отсчета, задать в ней систему координат и найти проекции изменения импульса тела на координатные оси:  $\Delta p_x = p_{2x} - p_{1x}$  и  $\Delta p_y = p_{2y} - p_{1y}$ . Затем найти модуль изменения импульса:  $\Delta p = \sqrt{\Delta p_x^2 + \Delta p_y^2}$ .

*Пример решения задачи.*

*Молекула, массой  $2 \cdot 10^{-26}$  кг со скоростью 500 м/с ударяется о стенку сосуда под углом 30 градусов к стенке и отскакивает от нее без потери скорости. Найдите силу с которой молекула подействовала на стенку. Время взаимодействия равно 0,01 с.*

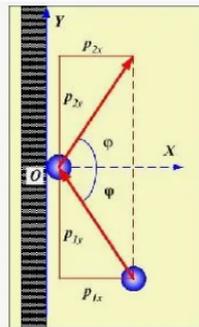


Рисунок 35



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 91 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Получим выражение для изменения импульса (5.3). Из рисунка к задаче (см. рисунок 35), следует:

$$\Delta p_x = p_{2x} - p_{1x} = mv \cos 60^\circ - (-mv \cos 60^\circ) = 2mv \cos 60^\circ$$

$$\Delta p_y = p_{2y} - p_{1y} = mv \cos 30^\circ - mv \cos 30^\circ = 0$$

$$\Delta p = \sqrt{\Delta p_x^2 + \Delta p_y^2} = \Delta p_x = 2mv \cos 60^\circ$$

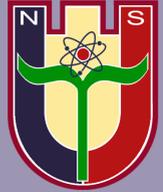
Из формулы (5.1) следует:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2mv \cos 60^\circ}{\Delta t} = 10^{-21} \text{ Н}$$

Совокупность тел, выделенных для рассмотрения, называется *механической системой*. Сумма импульсов всех тел составляющих механическую систему называется *импульсом механической системы*:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n \quad (5.4)$$

При решении физических задач, для вычисления импульса механической системы, необходимо выбрать инерциальную систему отсчета, задать в ней систему координат и найти проекции импульса каждого тела на координатные оси:  $p_x = p_{1x} + p_{2x} + \dots + p_{nx}$  и  $p_y = p_{1y} + p_{2y} + \dots + p_{ny}$ . Затем найти модуль импульса системы:  $p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 92 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Пример решения задачи.

Два тела массами 2 кг и 3 кг движутся перпендикулярно друг к другу со скоростями 6 м/с и 4 м/с соответственно. Найдите импульс данной механической системы.

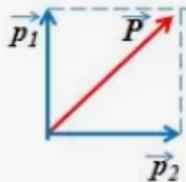


Рисунок 36

Из формулы (5.4) следует:

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

Воспользовавшись рисунком к задаче (см. рисунок 36), по теореме Пифагора можно найти величину импульса системы:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = \sqrt{m_1^2 v_1^2 + m_2^2 v_2^2} = 17 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}$$

Тела системы могут взаимодействовать как между собой, так и с телами, не входящими в систему. Система, в которой внешние силы от-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 93 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

сутствуют, называется *замкнутой*. Для замкнутой системы справедлив закон сохранения импульса:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \text{const} \quad (5.5)$$

При решении задач на закон сохранения импульса полезно пользоваться следующим общим квазиалгоритмом:

### КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

1. Проанализировать условие задачи и выяснить, является ли рассматриваемая система тел замкнутой. Иногда может оказаться, что сумма внешних сил, действующих на систему, не равна нулю, но есть такое «изолированное» направление, для которого сумма проекций всех внешних сил равна нулю. Для этого направления проекций импульса системы будет величиной постоянной.
2. Если система тел замкнута, то, выбрав систему координат, записывают закон сохранения импульса в проекциях на эти оси:  $p_x = \text{const}$ ,  $p_y = \text{const}$ ,  $p_z = \text{const}$ . Эти равенства могут быть использованы в качестве основных уравнений для определения искомых величин.
3. Если число неизвестных больше числа составленных уравнений, то нужно добавить к ним уравнения, связывающие между собой кинематические величины.
4. Если система тел не замкнута, но в ней есть «изолированное» направление, то записывают закон сохранения импульса только для проекции на это направление.
5. Решить полученную систему уравнений.

*Следует иметь в виду также и тот факт, что если в системе происходит быстрое изменение импульсов, вызванное взаимодействием тел, то продолжительность взаимодействия считается бесконечно малой. Это обстоятельство позволяет применять закон сохранения импульса даже в тех случаях, когда на систему действуют внешние силы.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 94 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

В подавляющем большинстве школьных физических задач на закон сохранения импульса рассматриваются абсолютно неупругие столкновения или реактивное движение. При *абсолютно неупругом ударе* тела после взаимодействия объединяются и двигаются дальше как единое целое:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p} \quad (5.6)$$

При *реактивном движении* единое тело разделяется на отдельные части:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \quad (5.7)$$

*Пример решения задачи.*

*Два тела движутся навстречу друг другу со скоростями 6 м/с и 4 м/с соответственно. После неупругого удара их скорость уменьшилась до 2 м/с и стала направлена в сторону движения первого тела. Найдите отношение их масс.*



Рисунок 37



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 95 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Из формулы (5.6) следует:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$$

Воспользовавшись рисунком к задаче (см. рисунок 37) и направив ось  $OX$  по направлению движения первого тела, в проекциях получим:

$$m_1v_1 - m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$$

Раскрыв скобки и разделив левую и правую части уравнения на  $m_2$ , легко получить:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v + v_2}{v_1 - v} = 1,5$$

Вторая группа задач - это задачи на механическую работу и мощность.

В школьном курсе физики *работа* определяется как произведение модуля силы, модуля перемещения и косинуса угла между ними:

$$A = F\Delta r \cos \alpha \quad (5.8)$$

Обучающиеся должны знать, что эту формулу для определения работы, можно применять только если сила постоянная. В случае, когда сила переменная, работу силы можно определить площадью фигуры под графиком зависимости силы от перемещения. Работа силы может быть положительной, отрицательной и равной нулю. Это зависит от угла между силой и перемещением (см. рисунок 38) :



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 96 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

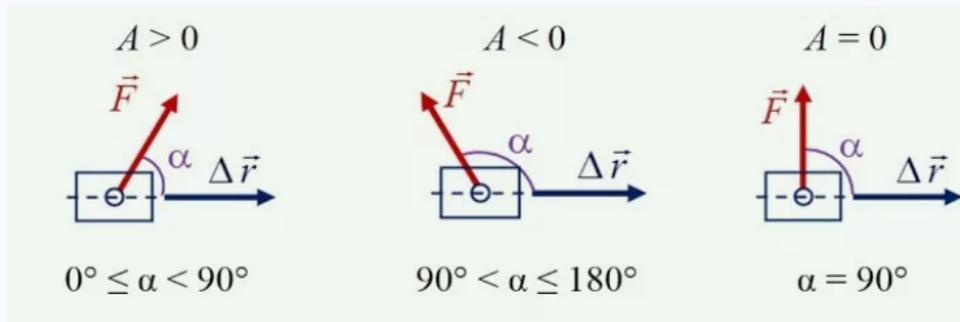


Рисунок 38

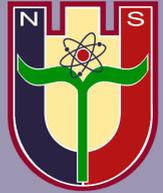
Чтобы охарактеризовать скорость совершения работы вводится понятие мощности, т.е. работы совершаемой в единицу времени. *Средняя мощность* определяется выражением:

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (5.9)$$

*Пример решения задачи.*

Определите работу постоянной силы, которая поднимает груз массой 100 кг на высоту 20 м с ускорением, направленным вертикально вверх. Величина ускорения  $0,4 \text{ м/с}^2$ .

Укажем на рисунке к задаче (см. рисунок 39) все силы, действующие на тело:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 97 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

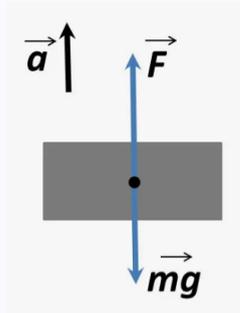


Рисунок 39

Из второго закона Ньютона (3.2) следует:

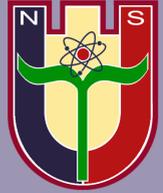
$$\vec{F} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

Записав, данное уравнение, в проекциях на ось  $OY$ , направленную вертикально вверх и проведя соответствующие математические преобразования, легко получить:

$$F = m(g + a)$$

Подставив данное выражение в формулу (5.8), с учетом того, что  $\cos\alpha = 1$ , получим:

$$A = m(g + a)h = 20800 \text{ Дж}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 98 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Пример решения задачи.

Какую минимальную работу надо совершить, чтобы передвинуть горизонтально груз массой 50 кг на расстояние 2 м? Коэффициент трения скольжения груза по поверхности 0,1.

Укажем на рисунке к задаче (см. рисунок 40) все силы, действующие на груз:

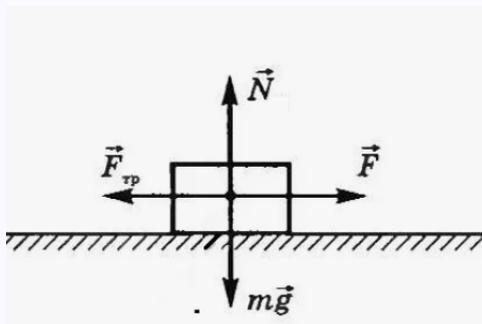


Рисунок 40

Минимальная работа будет совершена если груз двигать равномерно, тогда:

$$\vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} = 0$$

Запишем данное векторное уравнение в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$ :  $F - F_{\text{тр}} = 0$  и  $N - mg = 0$ . Воспользовавшись формулой для силы трения (3.7), из системы из трех уравнений легко получить:

$$F = \mu mg$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 99 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Подставив данное выражение в формулу (5.8), с учетом того, что  $\cos\alpha = 1$ , получим:

$$A = \mu t g s = 100 \text{ Дж}$$

*Пример решения задачи.*

Электродвигатель равномерно поднимает груз массой 10 кг на высоту 2 м за 4 с. Определите мощность этого двигателя.

Получим выражение для движущей силы. Так как груз движется равномерно:

$$\vec{F} + m\vec{g} = 0$$

Запишем данное векторное уравнение в проекциях на ось OY:  $F - mg = 0$  и  $F = mg$ . Воспользовавшись формулой для работы (5.8), с учетом того, что  $\cos\alpha = 1$ , получим:  $A = mgh$ . Тогда из формулы (5.9):

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{mgh}{t} = 50 \text{ Вт}$$

Последняя группа задач - это задачи, связанные с понятием *механическая энергия*, которая характеризует способность системы совершать механическую работу. В школьном курсе физики рассматривают различные виды механической энергии.

*Кинетическая энергия поступательно движущегося тела:*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 100 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

$$K = \frac{mv^2}{2} \quad (5.10)$$

*Потенциальная энергия системы состоящей из Земли и материальной точки массы  $m$  поднятой на высоту  $h$ :*

$$\Pi = mgh \quad (5.11)$$

*Потенциальная энергия упруго деформированной пружины:*

$$\Pi = \frac{kx^2}{2} \quad (5.12)$$

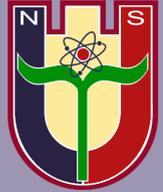
*Полная механическая энергия:*

$$E = K + \Pi \quad (5.13)$$

В общем случае изменение энергии механической системы измеряется работой, которую может совершить система (или работой, которая совершается над системой), переходя из одного состояния в другое:

$$A = E_2 - E_1 \quad (5.14)$$

Для *потенциальных сил* (сил, для которых работа не зависит от формы траектории) совершаемая работа равна изменению потенциальной энергии, взятой с обратным знаком:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 101 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

$$A = \Pi_1 - \Pi_2 = -\Delta\Pi \quad (5.15)$$

к таким силам относятся сила упругости и сила тяжести.

При решении задач на механическую энергию удобно пользоваться формулой:

$$A_{\text{вн}} + A_{\text{тр}} = E_2 - E_1 \quad (5.16)$$

где  $A_{\text{вн}}$  - работа внешних сил, действующих на механическую систему,  $A_{\text{тр}}$  - работа сил трения (сопротивления).

Если механическая система находится под действием только потенциальных сил, то  $A_{\text{вн}} = 0$ ,  $A_{\text{тр}} = 0$  и выполняется *закон сохранения механической энергии*:

$$E_2 = E_1 \quad (5.17)$$

или

$$K_2 + \Pi_2 = K_1 + \Pi_1 \quad (5.18)$$

Закон сохранения механической энергии является частным случаем более универсального, всеобщего *закона сохранения и превращения энергии*, который можно записать и в виде (5.16) (работа сил трения обычно идет на выделение количества теплоты  $Q$ ).

Квазиалгоритм для решения задач на закон сохранения механической энергии следующий:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 102 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ



1. Прежде чем применять закон сохранения механической энергии, необходимо выяснить, что в системе действуют только консервативные силы (сила тяжести и сила упругости).
2. Выделить два состояния системы.
3. Выбрать уровень отсчета потенциальной энергии.
4. Определить механическую энергию системы в обоих состояниях,
5. Записать закон сохранения энергии:  $(E_1 = E_2)$ .

*Если при переходе системы тел, из начального состояния в конечное на тела кроме внутренних сил действовали и внешние силы и силы трения, то для решения задачи используется теорема об изменении механической энергии.*

*Пример решения задачи.*

*Тело, массой 50 кг, поднимают вертикально, с поверхности Земли, с постоянной силой 600 Н. Найдите кинетическую энергию тела на высоте 5 м от поверхности.*

*На тело действует внешняя постоянная сила, поэтому воспользуемся формулой (5.16). Так как  $A_{тр} = 0$ :*

$$A_{вн} = E_2 - E_1 = (K_2 + \Pi_2) - (K_1 + \Pi_1)$$

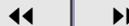
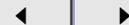
*Выберем ноль потенциальной энергии на поверхности Земли. Так как в начальном состоянии тело покоится, то  $K_1 = 0$  и*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 103 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$A_{\text{вн}} = K_2 + \Pi_2$$

Воспользовавшись формулой для работы постоянной силы (5.8) и формулой для потенциальной энергии (5.11) легко получить:

$$K_2 = A_{\text{вн}} - \Pi_2 = Fh - mgh = 500 \text{ Дж}$$

*Пример решения задачи.*

Найдите величину силы сопротивления действовавшей на пулю массой 10 г, которая пробила мишень, толщиной 1 см. Скорость пули до мишени равна 500 м/с, после мишени равна 300 м/с.

Воспользуемся формулой (5.16). Так как  $A_{\text{вн}} = 0$ :

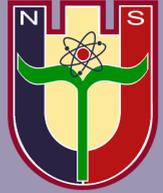
$$A_{\text{сопр}} = E_2 - E_1 = (K_2 + \Pi_2) - (K_1 + \Pi_1) = K_2 - K_1$$

Воспользовавшись формулой для работы постоянной силы (5.8) и формулой для кинетической энергии (5.10) легко получить:

$$-Fs = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

и

$$F = \frac{mv_1^2}{2s} - \frac{mv_2^2}{2s} = 2,72 \text{ МН}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 104 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Пример решения задачи.*

*Тело брошено под углом к горизонту с высоты 10 м над поверхностью земли со скоростью 20 м/с. Чему будет равна его скорость на высоте 25 м?*

*В системе действуют только потенциальные силы поэтому выполняется закон сохранения механической энергии (5.18):*

$$K_2 + \Pi_2 = K_1 + \Pi_1$$

*Воспользовавшись формулой для потенциальной энергии (5.11) и формулой для кинетической энергии (5.10) легко получить:*

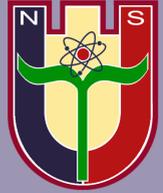
$$\frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1$$

*Отсюда следует:*

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2g(h_1 - h_2)} = 10 \text{ м/с}$$

*Пример решения задачи.*

*К нижнему концу недеформированной пружины жесткостью 400 Н/м прикрепили груз массой 250г и без толчка отпустили. Определите максимальную скорость груза.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 105 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Скорость груза будет максимальной в тот момент, когда в данной точке становится равным нулю его ускорение. То есть сумма всех сил действующих на груз станет равной нулю:

$$F_{\text{упр}}^{\vec{}} + m\vec{g} = 0$$

Воспользовавшись законом Гука (3.4), запишем это уравнение в проекциях на ось ОУ:

$$mg - kx = 0$$

Будем считать, что в этой точке потенциальная энергия системы «Земля-груз» равна нулю. Так как система находится только в поле потенциальных сил, то выполняется закон сохранения механической энергии (5.18):

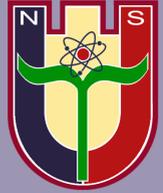
$$mgx = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$$

следовательно:

$$v = g\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,25\text{м/с}$$

*Пример решения задачи.*

Шар массой 2 кг, имеющий скорость 6 м/с, абсолютно упруго сталкивается с неподвижным шаром массой 1 кг. Найдите скорость второго шара после удара, считая его центральным.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 106 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

При абсолютно упругом ударе выполняется закон сохранения импульса (5.5) и закон сохранения механической энергии (5.18). Применим эти формулы для нашего случая:

$$m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 u_2$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$$

Сгруппируем члены так, чтобы все, что относится к первому телу, было слева от знака равенства:

$$m_1(v_1 - u_1) = m_2 u_2$$

$$m_1(v_1^2 - u_1^2) = m_2 u_2^2$$

Разделив второе уравнение на первое получим уравнение:

$$v_1 + u_1 = u_2$$

которое, вместе с законом сохранения импульса, образует систему уравнений с двумя неизвестными. Решив эту систему, получим:

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 = 8 \text{ м/с}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 107 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 6.

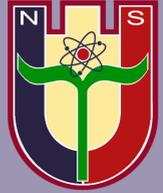
### Решение задач по теме «Основы молекулярно-кинетической теории».

Общий квазиалгоритм решения задач по молекулярной физике. Масса и размеры молекул. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Давление смеси газов. Изотермический, изобарный и изохорный процессы изменения состояния идеального газа. Насыщенный пар. Влажность воздуха.

Литература:[1, с. 115–117], [6, с. 213–226], [8, с. 176–196]

Молекулярная физика изучает физические свойства макроскопических тел (представляющих собой совокупность большого числа частиц), а также совершающиеся в них физические процессы, обусловленные тепловым движением и взаимодействием микрочастиц (атомов, молекул), составляющих эти тела. При этом используется два метода исследования: статистический и термодинамический. Статистический метод оперирует статистическими закономерностями и средними значениями физических величин, характеризующими всю совокупность частиц, например, средняя квадратичная скорость и средняя кинетическая энергия.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие четыре группы физических задач, которые используются в процессе изучения темы «Основы молекулярно-кинетической теории»:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 108 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть



## ТИПЫ ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ МКТ

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

задачи, в которых определяются массы молекул, молярные массы вещества, количество вещества

### ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МКТ

решение задач на расчет микро- и макропараметров газа, входящих в основное уравнение МКТ идеального газа, формулы для связи среднего значения кинетической энергии и абсолютной температуры

### УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА, ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

решение задач на определение физических величин, входящих в уравнение Менделеева-Клайперона, качественные, графические и вычислительные задачи на изопроцессы

### ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

решение вычислительных задач на абсолютную и относительную влажность,

Первая группа задач - это задачи связанные с понятиями: молярная масса, количество и плотность вещества.

Для измерения масс молекул и атомов в физике используют *атомную единицу массы*, которую выражают через массу изотопа углерода  $^{12}_6\text{C}$ :

$$1\text{ а.е.м.} = \frac{1}{12}m_{0c} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{ кг} \quad (6.1)$$

Массу молекулы, выраженную в атомных единицах массы, называют *относительной молекулярной массой*:

$$M_r = \frac{m_0}{1/12m_{0c}} \quad (6.2)$$

*Моль* – это такое количество вещества, которое содержит столько молекул (частиц, атомов), сколько содержится в 12 г изотопа углерода  $^{12}_6\text{C}$ .

*Число (постоянная) Авогадро* – число молекул в одном моле любого вещества:  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

*Молярная масса* – масса одного моля данного вещества:

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \text{ кг} \quad (6.3)$$

*Количество вещества (число молей)* можно определить при помощи следующих формул:

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad (6.4)$$

или

$$\nu = \frac{m}{M} \quad (6.5)$$

*Концентрация вещества* – физическая величина, равная числу молекул в единице объема данного вещества:

$$n = \frac{N}{V} \quad (6.6)$$

*Плотность вещества* – физическая величина, равная массе этого вещества, приходящаяся на единицу его объема:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 110 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6.7)$$

*Пример решения задачи.*

*На изделие площадь поверхности которого  $10\text{см}^2$ , нанесен слой золота толщиной  $1\text{ мкм}$ . Сколько атомов золота содержится в покрытии? Молярная масса золота  $196\text{ г/моль}$ , плотность золота  $19,32\text{ г/см}^3$ .*

*Из формул (6.4) и (6.5) легко получить, что*

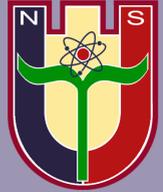
$$N = \frac{m}{M} N_A$$

*Так как, согласно (6.7)  $m = \rho V$ , а  $V = Sh$  окончательно получим:*

$$N = \frac{\rho Sh}{M} N_A = 5,94 \cdot 10^{19}$$

Вторая группа школьных физических задач - это задачи на *основное уравнение МКТ*, которое устанавливает связь между макро- и микропараметрами идеального газа:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{КВ}}^2 \quad (6.8)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 111 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Если, домножить и разделить правую часть уравнения (6.8) на 2, можно получить еще одну форму записи основного уравнения МКТ:

$$p = \frac{2}{3}n\langle E_{\text{к}} \rangle \quad (6.9)$$

где

$$\langle E_{\text{к}} \rangle = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2} \quad (6.10)$$

- средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.

Если для измерения температуры использовать *абсолютную температурную шкалу*, то при определении температуры по этой шкале полагают:

$$p = nkT \quad (6.11)$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К - *постоянная Больцмана*,  $n$  - концентрация,

$$T = t^{\circ}\text{C} + 273,15 \quad (6.12)$$

абсолютная температура.

Воспользовавшись формулами (6.9) и (6.11) можно получить *физический смысл температуры*:

$$\langle E_{\text{к}} \rangle = \frac{3}{2}kT \quad (6.13)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 112 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Пример решения задачи.*

*Определите плотность гелия, давление которого  $1,2 \cdot 10^5$  Па и абсолютная температура 293 К.*

*Воспользовавшись формулами (6.8) и (6.6) получим:*

$$p = \frac{1}{3} \rho v_{\text{КВ}}^2$$

*откуда*

$$\rho = \frac{3p}{v_{\text{КВ}}^2}$$

*Приравняв друг другу правые части формул (6.10) и (6.13) и воспользовавшись тем, что  $m_0 = M/N_A$  получим:*

$$v_{\text{КВ}}^2 = \frac{3kTN_A}{M}$$

*Окончательно*

$$\rho = \frac{pM}{kTN_A} = 0,197 \text{ кг/м}^3$$

*Третья группа школьных физических задач по данной теме - это задачи на уравнение состояния идеального газа и изопроцессы.*

*При решении задач по данному разделу можно пользоваться следующим квазиалгоритмом:*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 113 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

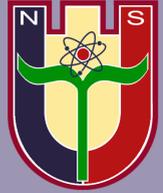


1. Чтение и разъяснение условия задачи.
2. Краткая запись условия задачи.
3. Перевод значений величин в СИ.
4. Анализ задачной ситуации:
  - выделить объект (газ), состояние которого исследуется;
  - сделать рисунок, отметив параметры, характеризующие каждое состояние газа;
  - установить, какие параметры газа изменяются;
5. Создание математической модели задачи:
  - записать формулу одного из газовых законов, если не меняются масса и состав газа и один из параметров его состояния;
  - записать уравнение Менделеева-Клапейрона, если меняются масса и состав газа, а также параметры его состояния;
  - записать дополнительные уравнения;
  - выразить искомую величину.
6. Выполнение вычисления.
7. Проверка и анализ ответа.

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона) связывает между собой макропараметры идеального газа:

$$PV = \frac{m}{M}RT \quad (6.14)$$

где  $R = kN_A$  - универсальная газовая постоянная.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 114 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Из уравнения состояния идеального газа можно получить выражения для изопрцессов.

*Изотермический* ( $T = const$ ):

$$PV = const \quad (6.15)$$

*Изобарный* ( $P = const$ ):

$$\frac{V}{T} = const \quad (6.16)$$

*Изохорный* ( $V = const$ ):

$$\frac{P}{T} = const \quad (6.17)$$

*Пример решения задачи.*

*Какова была начальная температура воздуха, если при нагревании его на 6К объем увеличился на 2 процента от первоначального? Давление не менялось.*

*Так как процесс изобарный используя (6.16) можно записать:*

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 115 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Из условия:  $V_2 = 1,02V_1$  и  $T_2 = T_1 + \Delta T$ .

Тогда:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1,02}{T_1 + \Delta T}$$

Из данного выражения:  $T_1 = 50\Delta T = 300\text{K}$ .

*Пример решения задачи. Температура в комнате, объемом 50 кубических метров, повысилась с  $7^\circ\text{C}$  до  $17^\circ\text{C}$ . Найдите массу воздуха, которую надо удалить из комнаты, чтобы давление воздуха, равное 100 кПА, осталось неизменным.*

*Очевидно, что величина, удаленной массы, определяется выражением:*

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

*Процесс изохорный. Запишем уравнение состояния идеального газа (6.14) для начального и конечного состояния воздуха:*

$$PV = \frac{m_1}{M}RT_1$$

$$PV = \frac{m_2}{M}RT_2$$

Откуда:

$$\Delta m = \frac{PVM}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = 2,15\text{кг}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 116 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Последняя группа задач - это задачи на вычисление *абсолютной влажности воздуха* и *относительной влажности воздуха*.

*Абсолютная влажность* – это количество килограммов водяного пара, содержащееся в  $1\text{ м}^3$  воздуха при данных условиях, т. е. это плотность водяного пара, выраженная в  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$\rho_{\text{в}} = \frac{m}{V} \quad (6.18)$$

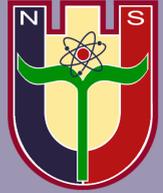
*Относительная влажность воздуха* – это отношение абсолютной влажности воздуха к плотности насыщенного пара при той же температуре (или отношение давления водяного пара к давлению насыщенного пара при той же температуре):

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{н}}} 100\% \quad (6.19)$$

$$\varphi = \frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{н}}} 100\% \quad (6.20)$$

*Пример решения задачи.*

*Какую массу воды надо дополнительно испарить в комнате объемом  $50\text{ м}^3$ , чтобы при температуре  $27^\circ\text{C}$  повысить относительную влажность от 25% до 50%? Давление насыщенного пара при температуре  $27^\circ\text{C}$ , равно  $3,6\text{ кПа}$ .*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 117 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Воспользовавшись уравнением состояния идеального газа (6.14) получим, что:

$$P_1V = \frac{m_1}{M}RT$$

$$P_2V = \frac{m_2}{M}RT$$

Тогда:

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{VM}{RT}(P_2 - P_1)$$

Согласно (6.20) :

$$\varphi_1 = \frac{P_1}{P_H}100\%$$

$$\varphi_2 = \frac{P_2}{P_H}100\%$$

Окончательно:

$$\Delta m = (\varphi_2 - \varphi_1) \frac{VM P_H}{RT 100\%} = 0,324 \text{ кг}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 118 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 7.

### Решение задач по теме «Основы термодинамики».

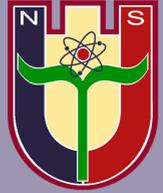
Внутренняя энергия идеального газа. Работа и количество теплоты. Уравнение теплового баланса. Первый закон термодинамики и его применение к изопроцессам. Изменение внутренней энергии в процессах теплопередачи. Тепловые двигатели. КПД теплового двигателя.

Литература: [1, с. 118–120], [6, с. 227–229], [8, с. 197–217]

Законы термодинамики применяются к так называемой термодинамической системе, под которой понимается макроскопическое тело (тело, состоящее из большого числа частиц) или группа макроскопических тел, которой свойственны процессы, сопровождающиеся переходом теплоты в другие виды энергии и наоборот.

Изменение состояния системы тел обусловлено передачей энергии. Передача энергии может происходить либо в форме работы, либо в форме теплоты. Совершение работы сопровождается перемещением тела или его частей. Сообщение теплоты не связано с перемещением тел, а обусловлено тем, что отдельные молекулы более нагретого тела передают свою кинетическую энергию молекулам менее нагретого тела.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие пять групп физических задач, которые используются в процессе изучения темы «Основы термодинамики»:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 119 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть



## ТИПЫ ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ ТЕРМОДИНАМИКИ

### ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

качественные, вычислительные и графические задачи на определение внутренней энергии идеального газа и ее изменения

### РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

качественные, вычислительные и графические задачи на определение работы в термодинамике

### КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

качественные, вычислительные задачи на уравнение теплового баланса

### ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

качественные, вычислительные и графические задачи на применение первого закона термодинамики в изопроцессах

### ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

качественные, вычислительные и графические задачи на определение КПД теплового двигателя

Первая группа задач по данной теме - это задачи связанные с понятиями: *внутренняя энергия идеального газа* и *изменение внутренней энергии идеального газа*.

*Внутренняя энергия идеального газа* определяется выражением:

$$U = \frac{3}{2}\nu RT \quad (7.1)$$

*Изменение внутренней энергии идеального газа* соответственно:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T \quad (7.2)$$

*Пример решения задачи.*

*Какова внутренняя энергия водорода, заполняющего аэростат объемом  $40\text{ м}^3$ , при давлении  $100\text{ кПа}$ ?*

*Согласно (7.1):*

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

*Воспользовавшись уравнением состояния идеального газа (6.14) можно записать:*

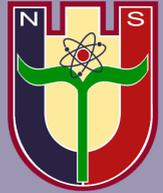
$$PV = \nu RT$$

*Следовательно:*

$$U = \frac{3}{2}PV = 6\text{МДж}$$

Вторая группа задач - это задачи на определение работы в термодинамике. В школьном курсе физики рассматривают работу, совершаемую газом, при изобарном расширении или работу при изобарном сжатии газа:

$$A = p(V_2 - V_1) \quad (7.3)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 121 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Очевидно, что в первом случае работа силы давления газа положительная, во втором случае - отрицательная.

Работу газа можно определить графически. При изобарном процессе (см. рисунок 41) работа численно равна площади прямоугольника ограниченного изобарой  $AB$ , осью  $OV$ , и прямыми соответствующими объемам  $V_1$  и  $V_2$ :

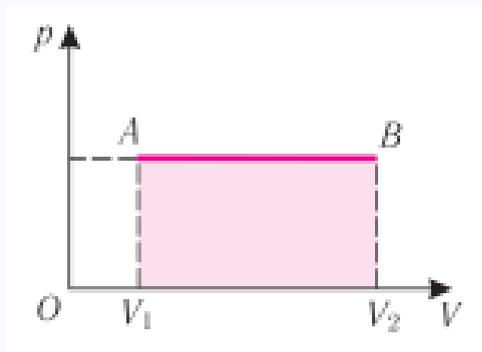


Рисунок 41

Если процесс не является изобарным, то работа силы давления газа при изменении объема также численно равна площади фигуры под графиком процесса. В рассматриваемом примере (см. рисунок 42) это площадь фигуры ограниченной кривой 1-2, осью  $OV$ , и прямыми соответствующими объемам  $V_1$  и  $V_2$ . Конечно же, в школьных физических задачах, эта фигура имеет такой вид, чтобы ее площадь вычислялась элементарно, без интегрирования.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 122 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

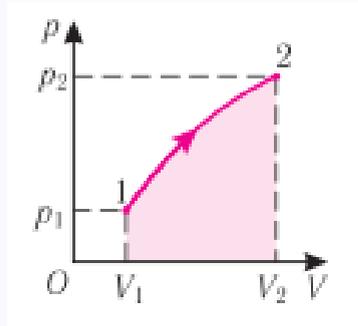


Рисунок 42

*Пример решения задачи.*

*Определите работу, совершаемую силой давления идеального газа при повышении его температуры от  $7^{\circ}\text{C}$  до  $27^{\circ}\text{C}$ . Давление газа  $150\text{ кПа}$ , первоначальный объем  $4\text{ дм}^3$ .*

Согласно (7.3):

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1$$

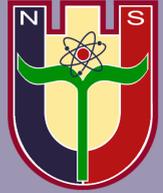
*Воспользовавшись уравнением состояния идеального газа (6.14) можно записать:*

$$pV_1 = \nu RT_1$$

$$pV_2 = \nu RT_2$$

*Следовательно:*

$$A = \nu R(T_2 - T_1) = pV_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = 643\text{ Дж}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 123 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Третья группа задач - это задачи на применение уравнения теплового баланса. *Количество теплоты*, переданное телу массой  $m$  и *удельной теплоемкостью*  $c$ , или отданное телом, если процесс теплопередачи не сопровождается изменением агрегатного состояния вещества, определяется по формуле:

$$Q = cm(T_2 - T_1) = cm(t_2 - t_1) \quad (7.4)$$

Физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать твердому телу массой 1 кг при температуре плавления для перехода в жидкость, называется *удельной теплотой плавления*  $\lambda$ . Для плавления тела массой  $m$ , предварительно нагретого до температуры плавления, ему необходимо сообщить количество теплоты:

$$Q = \lambda m \quad (7.5)$$

При кристаллизации тела выделяется количество теплоты:

$$Q = -\lambda m \quad (7.6)$$

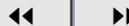
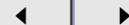
Физическую величину, численно равную количеству теплоты, которое необходимо передать жидкости массой 1 кг, находящейся при температуре кипения, для превращения её при постоянной температуре в пар, называют *удельной теплотой парообразования*  $L$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 124 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости массой  $m$ , предварительно нагретой до температуры кипения, в пар, определяют по формуле:

$$Q = Lm \quad (7.7)$$

Конденсация пара сопровождается выделением количества теплоты:

$$Q = -Lm \quad (7.8)$$

Физическую величину, численно равную количеству теплоты, выделяющемуся при полном сгорании топлива массой 1 кг, называют *удельной теплотой сгорания*  $q$  топлива.

Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании некоторой массы  $m$  топлива, определяют по формуле:

$$Q = qm \quad (7.9)$$

Если в изолированной системе происходит теплообмен между несколькими телами, то:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0 \quad (7.10)$$

- *уравнение теплового баланса*.

Уравнение теплового баланса - ни что иное, как закон сохранения и превращения энергии в применении к процессам теплообмена. Входящие в уравнение  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  определяются формулами (7.7) и (7.8).



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 125 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Пример решения задачи.*

*Для приготовления ванны емкостью 200 л смешали холодную воду при 10°C с горячей при 60°C. Сколько литров холодной воды нужно взять, чтобы в ванне установилась температура 40°C?*

*Согласно (7.10):*

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

*Воспользовавшись (7.4) получим:*

$$cm_1(t_3 - t_1) + cm_2(t_3 - t_2) = 0$$

*Выразив массу через объем и плотность при помощи (6.7) получим:*

$$c\rho V_1(t_3 - t_1) + c\rho V_2(t_3 - t_2) = 0$$

*Так как объем горячей воды  $V_2 = V - V_1$ , где  $V$  - объем ванны, а  $V_1$  - объем холодной воды, после элементарных преобразований можно записать:*

$$V_1 = V \frac{t_2 - t_3}{t_2 - t_1} = 80\text{л}$$

*Пример решения задачи.*

*В емкость с водой массой 800 г с температурой 60°C, бросили кусок льда с температурой -10°C. Определите массу льда, если в результате, в емкости установилась температура 40°C. Теплообмен с емкостью и воздухом не учитывать. Давление - нормальное.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 126 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

В рассматриваемой термодинамической системе происходят четыре тепловых процесса: нагревание льда до температуры плавления  $0^\circ\text{C}$ , плавление льда, нагревание воды, образовавшейся при плавлении льда, до температуры  $40^\circ\text{C}$ , охлаждение теплой воды до температуры  $40^\circ\text{C}$ . Согласно (7.10):

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0$$

Воспользовавшись (7.4) и (7.5) получим:

$$c_{\text{л}}m_{\text{л}}(t_0 - t_2) + \lambda m_{\text{л}} + c_{\text{в}}m_{\text{л}}(t_3 - t_0) + c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_3 - t_1) = 0$$

Следовательно:

$$m_{\text{л}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - t_3)}{c_{\text{л}}m_{\text{л}}(t_0 - t_2) + \lambda + c_{\text{в}}m_{\text{л}}(t_3 - t_0)} = 130\text{г}$$

Следующая группа задач, встречающихся в курсе физики учреждений общего среднего образования, это задачи на применение первого закона термодинамики к изопроцессам.

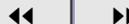
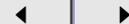
Одним из основных законов термодинамики является *первое начало (закон) термодинамики*, который гласит: количество теплоты, сообщенное системе, расходуется на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы системой против внешних сил. Данный закон, есть ни что иное, как запись закона сохранения и превращения энергии для термодинамических процессов:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 127 из 320

Назад

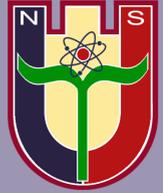
На весь экран

Закрыть

$$Q = \Delta U + A \quad (7.11)$$

В данном выражении необходимо учитывать знаки: если теплота сообщается системе, то  $Q > 0$ , если система отдает теплоту, то  $Q < 0$ ; если система совершает работу, то  $A > 0$ , если работа совершается над системой, то  $A < 0$ .

В изобарном процессе:  $Q = \Delta U + A$  и  $A = p\Delta V$ . В изотермическом процессе:  $Q = A$ . В изохорном процессе:  $Q = \Delta U$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

#### КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ



1. Проанализируйте физическую ситуацию и выделите материальные объекты, имеющие отношение к ней.
2. Выберите термодинамическую систему и выясните, как изменяются параметры состояния ( $P, V, T$ ) и внутренняя энергия каждого тела системы при переходе из одного состояния в другое.
3. Запишите уравнения, связывающие параметры двух состояний термодинамической системы, и формулы для расчета изменения внутренней энергии каждого тела системы при переходе из одного состояния в другое.
4. Запишите в развернутом виде формулу первого закона термодинамики.
5. Решите систему уравнений, полученных в п. 3-5, в общем виде, проверьте правильность решения в общем виде, выполните числовые расчеты и проанализируйте их

Начало

Содержание



Страница 128 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Пример решения задачи.

Над газом, которому сообщили количество теплоты 600 Дж, совершили работу 200 Дж. Определите изменение внутренней энергии газа.

Согласно (7.11) и с учетом знаков, в нашем случае:  $Q = \Delta U - A$  и  $\Delta U = Q + A = 800 \text{ Дж}$ .

Пример решения задачи.

Найдите количество теплоты, которое необходимо сообщить одному молу идеального газа, чтобы перевести его из состояния 1 с температурой 280 К в состояние 3 (см. рисунок 43).

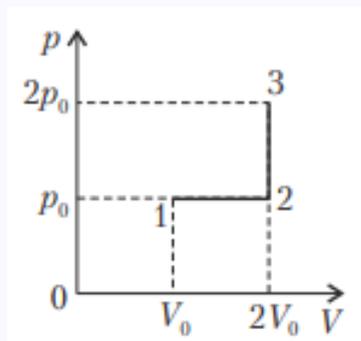


Рисунок 43

В нашем случае газ участвует в двух процессах: изобарном и изо-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 129 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

хорном. Поэтому:

$$Q = Q_{12} + Q_{23}$$

Согласно (7.11) и (7.2):

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) + \nu R(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1)$$

Для изобарного процесса (6.16):

$$\frac{V_0}{T_1} = \frac{2V_0}{T_2}$$

Следовательно  $T_2 = 2T_1$  и

$$Q_{12} = \frac{5}{2}\nu RT_1$$

Согласно (7.11) и (7.2):

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2)$$

Для изохорного процесса (6.17):

$$\frac{P_0}{T_2} = \frac{2P_0}{T_3}$$

Следовательно  $T_3 = 2T_2 = 4T_1$  и

$$Q_{23} = \frac{3}{2}\nu R2T_1$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 130 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Окончательно:

$$Q = \frac{11}{2} \nu RT_1 = 12,8 \text{ кДж}$$

Последняя группа задач по данной теме - это задачи, рассматривающие принципы работы тепловых двигателей.

По закону сохранения энергии за цикл рабочее тело тепловой машины совершает работу:

$$A = Q_1 + Q_2 \quad (7.12)$$

где  $Q_1$  - количество теплоты, полученное от нагревателя,  $Q_2$  - количество теплоты, отданное холодильнику.

*Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины* равен отношению, совершаемой машиной полезной работы, к количеству теплоты получаемому рабочим телом от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (7.13)$$

*Пример решения задачи.*

*Два моля газа изобарно нагревают от 400 К до 800 К, затем изохорно охлаждают до 500 К. Далее газ охлаждают изобарно так, что*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 131 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

его объем уменьшается до первоначального. Наконец, газ изохорно нагревают до 400 К. Найдите работу, совершенную в данном цикле (см. рисунок 44).

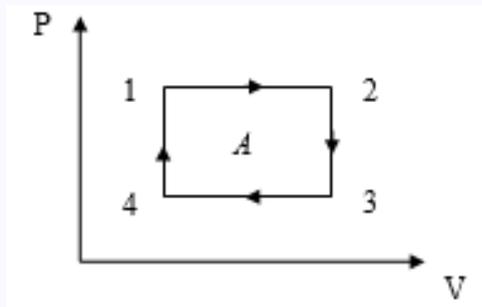


Рисунок 44

Очевидно, что:

$$A = A_{12} + A_{34} = \nu R(T_2 - T_1) + \nu R(T_4 - T_3)$$

Воспользовавшись (6.16) и тем, что  $V_2 = V_3$  и  $V_1 = V_4$  легко получить, что:

$$T_4 = \frac{T_1}{T_2} T_3 = 250\text{К}$$

Окончательно:

$$A = \nu R(T_2 + T_4 - T_1 - T_3) = 2490\text{Дж}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 132 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Пример решения задачи.

Определите работу, совершенную тепловым двигателем за цикл, если количество теплоты отданное холодильнику равно 3 кДж. КПД теплового двигателя равен 40 процентов.

Согласно (7.13):

$$\eta = \frac{A}{Q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Из данных уравнений следует, что:

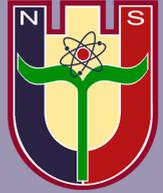
$$A = \eta Q_1$$

и

$$Q_1 = \frac{Q_2}{1 - \eta}$$

Окончательно:

$$A = \frac{\eta Q_2}{1 - \eta} = 2 \text{ кДж}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 133 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 8.

### Решение задач по теме «Основы электростатики».

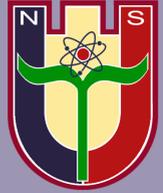
Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Взаимодействие точечных зарядов. Закон Кулона. Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля. Напряженность поля, создаваемого точечным зарядом. Линии напряженности электростатического поля. Принцип суперпозиции электростатических полей. Потенциал и разность потенциалов. Поле точечного заряда. Электроемкость. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора.

Литература: [1, с. 122–124], [6, с. 255–270], [8, с. 218–264]

*Электростатика* - раздел электродинамики в котором изучают взаимодействие неподвижных, в данной инерциальной системе отсчета, электрически заряженных тел. Основой электростатики является общепризнанная и экспериментальная теория о существовании электрически заряженных частиц.

Некоторые основные вопросы электростатики изучаются в курсе физики восьмого и десятого классов учреждений общего среднего образования. При изучении данного раздела решается большое количество физических задач.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие группы физических задач, которые используются в процессе



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 134 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

изучения темы «Основы электростатики»:



Как видно, из предложенной квалификации, при обучении электростатике, часто решают комплексные физические задачи, в которых наряду с законами электричества, применяются законы механики, что является очень важным для понимания обучающимися целостной физической картины мира.

При решении задач по разделу «Основы электростатики» можно поль-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 135 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

зоваться следующим квазиалгоритмом:

## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ



1. Выберите физическую систему, определите тип этой системы и выделите физические законы, которые могут быть использованы для ее описания.
2. Выясните характер и особенности электростатических взаимодействий объектов системы между собой и с окружением; введите силовые и энергетические характеристики этих взаимодействий, на схематическом рисунке укажите кинематические, динамические и энергетические характеристики системы.
3. Запишите законы движения и (или) законы сохранения для объектов, включенных в систему, спроецируйте при необходимости векторные величины на оси координат.
4. Выразите силы и (или) энергию электростатического взаимодействия и собственную энергию электростатического поля через заряды, напряженности полей и потенциалы (принимая во внимание принцип суперпозиции полей).
5. Составьте систему уравнений, являющихся математической моделью задачи и проверьте, является ли она полной.
6. Решите полученную систему уравнений в общем виде. Проверьте правильность решения в общем виде. Выполните числовые расчеты. Проанализируйте результаты.

Первая группа задач по данной теме - это задачи связанные с : *законом сохранения электрического заряда*, который является фундаментальным законом природы, наряду с законом сохранения и превращения энергии и законом сохранения импульса.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 136 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Заряд тела* кратен элементарному электрическому заряду:

$$q = \pm ne \quad (8.1)$$

где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $n=0,1,2,3,\dots$

В изолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной. Это положение называется *законом сохранения электрического заряда*:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = const \quad (8.2)$$

*Пример решения задачи.*

*От капли масла, имеющей электрический заряд  $+6n$  Кл отделилась капля с зарядом  $-2n$  Кл. Найдите заряд оставшейся части капли.*

Согласно (8.2):

$$q_1 = q_2 + q_3$$

Следовательно:

$$q_3 = q_1 - q_2 = 8n \text{ Кл}$$

*Пример решения задачи.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 137 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

После электризации заряд стеклянной палочки стал  $6,4 \cdot 10^{-9}$  Кл. Найдите изменение массы палочки.

Так как заряд палочки стал положительным, с нее ушла часть отрицательно заряженных электронов. Поэтому масса палочки уменьшилась на:

$$\Delta m = n m_e$$

где  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг - масса электрона.

Число электронов найдем из выражения (8.1):

$$n = \frac{q}{e}$$

Окончательно:

$$\Delta m = \frac{q}{e} m_e = 3,6 \cdot 10^{-20} \text{ кг}$$

Вторая группа физических задач по данной теме - это задачи на применение закона Кулона, который гласит, что два точечных заряда (размерами тел, на которых находятся заряды можно пренебречь по сравнению с расстояниями между ними) взаимодействуют с силой (сила Кулона), пропорциональной величинам зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними и направленной вдоль прямой соединяющие эти заряды:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 138 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2} \quad (8.3)$$

где  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость вещества,  $k$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц.

Направление силы Кулона определяется соотношениями между знаками зарядов:

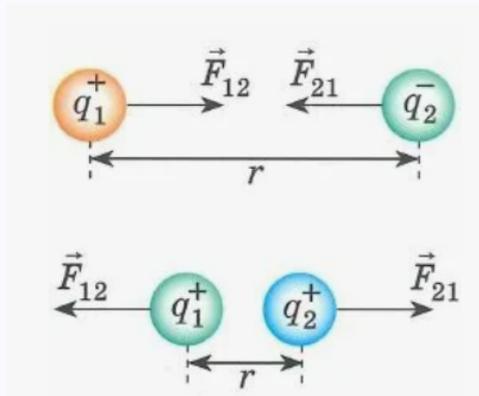
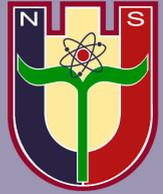


Рисунок 45

*Пример решения задачи.*

*Два одинаковых по размеру металлических шарика с зарядами  $7 \text{ мкКл}$  и  $-3 \text{ мкКл}$  привели в воздухе в соприкосновение и развели на некоторое расстояние, после чего сила их взаимодействия оказалась равна  $40 \text{ Н}$ . Определите это расстояние.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 139 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

При соприкосновении одинаковых проводящих шариков заряды перераспределятся таким образом, что шарики будут иметь одинаковый заряд. Согласно закону сохранения заряда (8.2) сумма зарядов до взаимодействия равна сумме зарядов после:

$$q_1 + q_2 = q + q$$

Следовательно:

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

Используя закон Кулона (8.3), с учетом, что для воздуха  $\varepsilon = 1$ , легко получить:

$$r = q\sqrt{\frac{k}{F}} = 3\text{см}$$

Пример решения задачи.

Три одинаковых одноименных точечных заряда  $q$ , расположены в воздухе, в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$ . Найдите величину силы, действующей на каждый заряд.

Очевидно (см. рисунок 46), что на каждый из зарядов действуют одинаковые по величине силы. Исходя из правила нахождения равнодействующей сил (3.1) эта сила равна:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 140 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

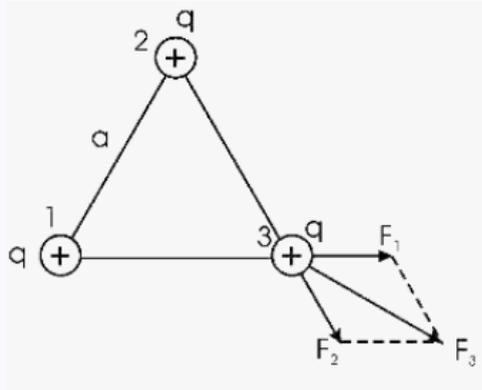


Рисунок 46

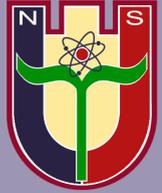
$$\vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Используя закон Кулона (8.3), с учетом, что для воздуха  $\varepsilon = 1$ , легко получить:

$$F_1 = F_2 = k \frac{q^2}{a^2}$$

Так как треугольник равносторонний, угол между силами  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  равен  $60^\circ$ . Тогда, проведя ось  $OX$  по направлению силы  $\vec{F}_3$ , можно записать:

$$F_3 = F_1 \cos 30^\circ + F_2 \cos 30^\circ = k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{3}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 141 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Пример решения задачи.

Два одинаковых шарика с массами равными  $m$ , висят на непроводящих нитях равной длины  $l$ , закрепленных в одной точке. Шарик заряжены одноименными зарядами  $q$  и, отталкиваясь, расходятся на угол  $\alpha$  от вертикали. Найти расстояние между шариками.

Изобразим силы, действующие на шарик (см. рисунок 47):

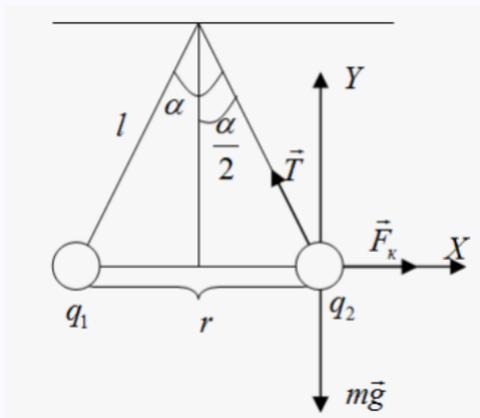


Рисунок 47

Из первого условия равновесия (4.1) следует:

$$\vec{F}_k + \vec{T} + m\vec{g} = 0$$

Тогда, в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$  и воспользовавшись законом Кулона (8.3), можно записать:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 142 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

$$k \frac{q^2}{r^2} = T \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$mg = T \cos \frac{\alpha}{2}$$

Разделив первое уравнение на второе можно получить:

$$r = q \sqrt{\frac{k}{mgtg \frac{\alpha}{2}}}$$

Третья группа задач - это задачи на напряженность электростатического поля.

*Напряженностью электрического поля* в данной его точке называется векторная физическая величина, равная отношению силы действующей со стороны этого поля на точечный пробный положительный электрический заряд  $q_0$ , помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (8.4)$$

Напряженность является силовой характеристикой электрического поля. Направление вектора напряженности электрического поля совпадает с направлением вектора силы, действующей на пробный положительный заряд (см. рисунок 48):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 143 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

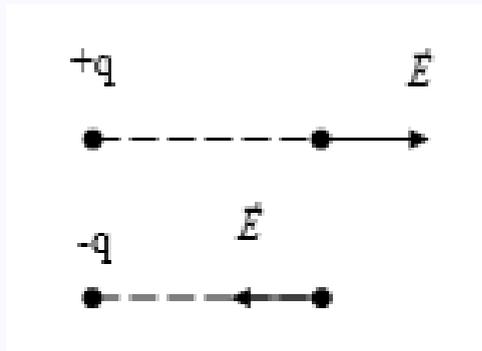


Рисунок 48

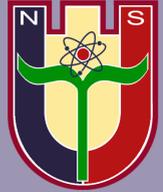
Величина напряженности поля точечного заряда на расстоянии  $r$  от него определяется выражением:

$$E = k \frac{|q|}{\epsilon r^2} \quad (8.5)$$

*Принцип суперпозиции*: если в данной точке пространства электростатическое поле создано системой точечных зарядов, то напряженность результирующего поля в этой точке равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из точечных зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (8.6)$$

*Пример решения задачи.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 144 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Электрон заряд которого  $q_e$  и масса  $m_e$ , влетает со скоростью  $v_0$  в однородное электростатическое поле с величиной напряженности  $E$ . Направление скорости электрона совпадает с направлением линий напряженности. Найдите время, которое пройдет до остановки электрона.

Так как заряд электрона отрицателен, на него со стороны электростатического поля будет действовать тормозящая сила (см. рисунок 49):

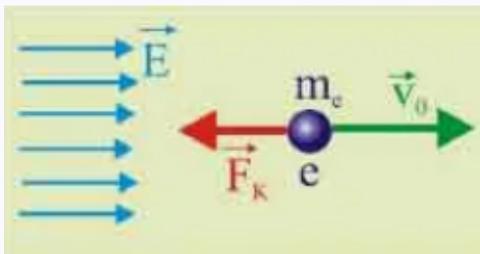


Рисунок 49

Воспользовавшись формулой для скорости при равнопеременном движении (2.12) и тем, что конечная скорость электрона  $v = 0$ , получим:

$$t = \frac{v_0}{a}$$

Используя второй закон Ньютона (3.2) и формулу для напряженности (8.4), можно записать:

$$q_e E = m_e a$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 145 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Выразив из последней формулы ускорение и подставив его в выражение для времени, окончательно получим:

$$t = \frac{m_e v_0}{q_e E}$$

*Пример решения задачи.*

В однородном электростатическом поле, линии напряженности которого направлены горизонтально, подвешен на непроводящей нити маленький шарик заряд которого  $q$ , а масса  $m$ . Величина напряженности поля  $E$ . Найдите угол отклонения нити от вертикали.

Изобразим силы, действующие на шарик (см. рисунок 50):

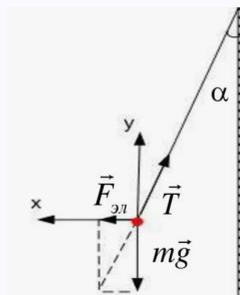


Рисунок 50

Из первого условия равновесия (4.1) следует:

$$\vec{F} + \vec{T} + m\vec{g} = 0$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 146 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Тогда, в проекциях на оси  $OX$  и  $OY$  и воспользовавшись формулой (8.4), можно записать:

$$qE = T \sin \alpha$$

$$mg = T \cos \alpha$$

Разделив первое уравнение на второе окончательно получим:

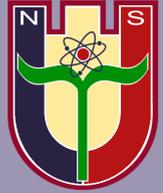
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{qE}{mg}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left( \frac{qE}{mg} \right)$$

*Пример решения задачи.*

В воздухе, на расстоянии 5 см друг от друга, расположены два точечных заряда  $q_1 = 5 \text{ мкКл}$  и  $q_2 = -5 \text{ мкКл}$ . Найдите величину напряженности электростатического поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от положительного заряда и на расстоянии 4 см от отрицательного.

Из условия задачи следует, что точечные заряды и искомая точка находятся в вершинах прямоугольного треугольника. А вектора напряженности электростатического поля расположены следующим образом (см. рисунок 51):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 147 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

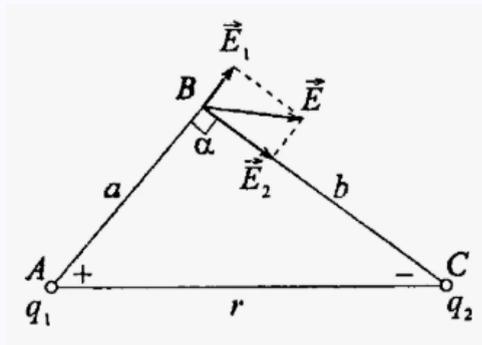


Рисунок 51

Из принципа суперпозиции (8.6) следует:

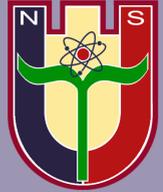
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Из теоремы Пифагора:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = k\sqrt{\frac{q_1^2}{a^4} + \frac{q_2^2}{b^4}} = 57 \text{ МН/Кл}$$

Следующая группа задач - это задачи на потенциал электростатического поля.

Работа силы однородного электростатического поля по перемещению заряда не зависит от формы траектории (см. рисунок 52)



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 148 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

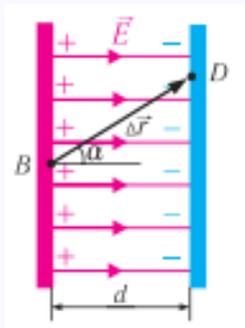


Рисунок 52

и определяется выражением:

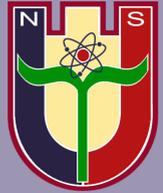
$$A = qEd \quad (8.7)$$

Электростатическое поле является потенциальным, поэтому работа  $A$ , совершаемая при перемещении электрического заряда из одной точки поля в другую равна убыли потенциальной энергии  $W$  этого заряда:

$$A = W_1 - W_2 = -\Delta W \quad (8.8)$$

*Потенциалом электростатического поля* называется скалярная физическая величина, численно равная отношению потенциальной энергии пробного заряда, помещенного в данную точку поля, к значению этого заряда:

$$\varphi = \frac{W}{q_0} \quad (8.9)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 149 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Потенциал поля точечного заряда  $q$  на расстоянии  $r$  от него определяется выражением:

$$\varphi = k \frac{q}{r} \quad (8.10)$$

Потенциал результирующего поля создаваемого несколькими зарядами, равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым из этих зарядов в отдельности:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n \quad (8.11)$$

При расчетах важно знать не абсолютные значения потенциалов, в каких либо двух точках поля, а *разность потенциалов*

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0} \quad (8.12)$$

которая равна работе по перемещению пробного заряда из одной точки электростатического поля в другую.

Разность потенциалов и напряженность электростатического поля связаны между собой соотношением:

$$E = \frac{U}{d} \quad (8.13)$$

где  $d$  - расстояние между эквипотенциальными поверхностями вдоль линии напряженности, например (см. рисунок 52).



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 150 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Пример решения задачи.

В вершинах квадрата, находящегося в воздухе, расположены четыре точечных заряда  $q$ . Найдите потенциал в центре квадрата. Длина стороны квадрата равна  $a$ .

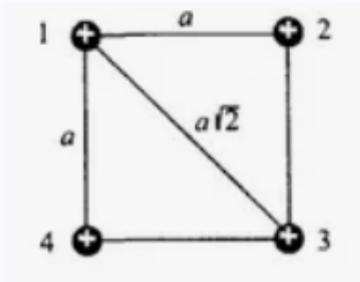


Рисунок 53

Согласно (8.11):

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$$

Исходя из рисунка (см. рисунок 53) и формулы (8.10):

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4 = k \frac{q\sqrt{2}}{a}$$

Окончательно:

$$\varphi = k \frac{4\sqrt{2}}{a} q$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 151 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Пример решения задачи.*

*Два точечных заряда по 10 нКл каждый закреплены на расстоянии 4 см друг от друга. Посередине между зарядами помещают заряженную частицу массой 2 мг с зарядом 36 нКл и отпускают. Какую скорость приобретет частица на большом расстоянии от зарядов?*

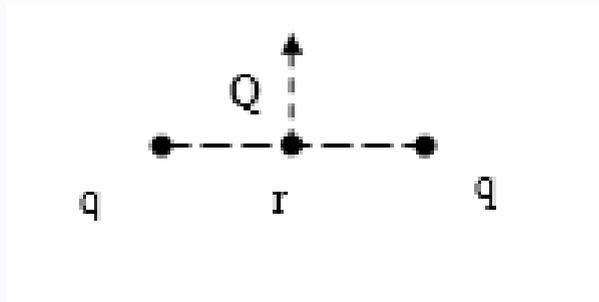


Рисунок 54

*Воспользуемся законом сохранения энергии:*

$$W_1 + K_1 = W_2 + K_2$$

*Исходя из формул (8.9) и (5.10) получим:*

$$Q\varphi_1 + \frac{mv_1^2}{2} = Q\varphi_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

*Так как по условию задачи  $v_1 = 0$  и  $\varphi_2 = 0$ :*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 152 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$Q\varphi_1 = \frac{mv_2^2}{2}$$

Потенциал в начальной точке найдем воспользовавшись (8.11) и (8.10):

$$\varphi_1 = k\frac{2q}{r} + k\frac{2q}{r} = 4k\frac{q}{r}$$

Тогда:

$$\frac{4kQq}{r} = \frac{mv_2^2}{2}$$

Окончательно:

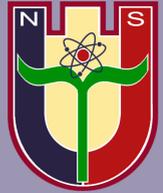
$$v_2 = \sqrt{\frac{8kQq}{mr}} = 18\text{м/с}$$

Пример решения задачи.

Пылинка, массой  $10^{-2}$  г висит в поле плоского конденсатора, расстояние между пластинами которого 1 см. Разность потенциалов между пластинами равна 1000 В. Найдите модуль заряда пылинки.

На пылинку (см. рисунок 55) действуют две силы: сила со стороны электростатического поля и сила тяжести. Так как пылинка находится в состоянии покоя, согласно первому условию равновесия (4.1):

$$q\vec{E} + m\vec{g} = 0$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 153 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

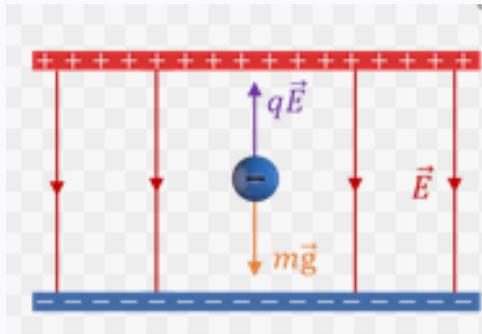


Рисунок 55

В проекциях на ось  $OY$ :

$$qE - mg = 0$$

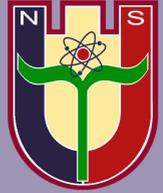
Используя формулу (8.13) получим:

$$q \frac{U}{d} - mg = 0$$

Окончательно:

$$q = \frac{mgd}{U} = 0,1 \text{ нКл}$$

Последняя группа задач по теме «Основы электростатики» - это задачи на емкость конденсатора и энергию электростатического поля.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 154 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

*Электрическая емкость:*

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (8.14)$$

*Электрическая емкость конденсатора:*

$$C = \frac{q}{U} \quad (8.15)$$

*Электрическая емкость плоского конденсатора:*

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (8.16)$$

*Энергия электростатического поля конденсатора:*

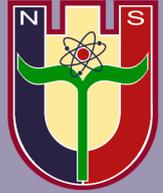
$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (8.17)$$

*Пример решения задачи.*

*Расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора, емкостью 10 мкФ, равно 1 мм. Разность потенциалов между пластинами равна 100 В. Найдите величину силы с которой пластины притягиваются между собой.*

*Сила с которой притягиваются пластины определяется выражением (8.4):*

$$F = qE$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 155 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Из формул (8.15) и (8.13) следует, что:

$$F = CUE = \frac{CU^2}{d} = 100\text{Н}$$

*Пример решения задачи.*

*Плоский воздушный конденсатор заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью 2,0. Затем конденсатор зарядили сообщив ему энергию 20 Дж. После чего конденсатор отсоединили от источника напряжения, слили диэлектрик и разрядили. Найдите выделившуюся при разрядке энергию.*

*Так как конденсатор отсоединили от источника:  $q_1 = q_2$ .*

*Воспользовавшись формулами (8.17) и (8.16) для выделившейся энергии получим:*

$$W_2 = \frac{q_2^2}{2C_2} = \frac{q_1^2 d}{\varepsilon_0 S}$$

*Первоначальная энергия равна:*

$$W_1 = \frac{q_1^2}{2C_1} = \frac{q_1^2 d}{\varepsilon_0 \varepsilon S}$$

*Разделив одно уравнение на другое, получим:*

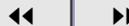
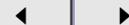
$$W_2 = \varepsilon W_1 = 40\text{Дж}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 156 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 9.

### Решение задач по теме «Постоянный электрический ток».

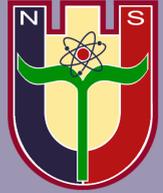
Сила тока. Сопротивление. Закон Ома для однородного участка цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи. Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца. Коэффициент полезного действия источника тока.

Литература:[1, с. 125–127], [6, с. 275–290], [8, с. 265–304]

Постоянный электрический ток изучается в учреждениях общего среднего образования на основе классической электронной теории проводимости. Практически весь изучаемый материал посвящен проводимости в металлах. Именно по этому разделу решаются все вычислительные задачи. Вопросы проводимости в жидкостях и газах рассматриваются только на качественном уровне.

Часть вопросов темы изучаются в курсе физики восьмого класса (процессы в однородном участке электрической цепи), а часть в курсе физики десятого класса (процессы в замкнутой электрической цепи). Неоднородный участок цепи не рассматривается.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие группы физических задач, которые используются в процессе изучения темы «Постоянный электрический ток»:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 157 из 320

Назад

На весь экран

Закреть



Первая группа задач - это элементарные задачи на силу тока и зависимость сопротивления проводника от его размеров.

Для постоянного тока *сила тока* определяется следующим выражением:

$$I = \frac{q}{t} \quad (9.1)$$

Формула для расчета сопротивления проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (9.2)$$

Начало

Содержание



Страница 158 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

*Пример решения задачи.*

*Найдите число электронов, прошедших через поперечное сечение проводника за время 4 с. Сила тока равна 6 А.*

*Воспользовавшись формулами (9.1) и (8.1) можно записать:*

$$q = It$$

$$q = ne$$

*Следовательно:*

$$n = \frac{It}{e} = 1,5 \cdot 10^{20}$$

*Пример решения задачи.*

*Найдите массу металлического проводника с плотностью  $8900 \text{ кг/м}^3$ , удельным сопротивлением  $4,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , сечением  $0,5 \text{ мм}^2$  и сопротивлением 8 Ом.*

*Воспользовавшись формулой (6.7) можно записать:*

$$m = \rho V = \rho Sl$$

*Из формулы (9.2):*

$$l = \frac{RS}{\rho_c}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 159 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Окончательно:

$$m = \frac{\rho R S^2}{\rho_c} = 0,042 \text{ кг}$$

Вторая группа задач по данной теме - это задачи на закон Ома для однородного участка цепи и различные виды соединений проводников.

*Закон Ома для однородного участка цепи:*

$$I = \frac{U}{R} \quad (9.3)$$

При *последовательном* соединении сопротивлений (см. рисунок 56):

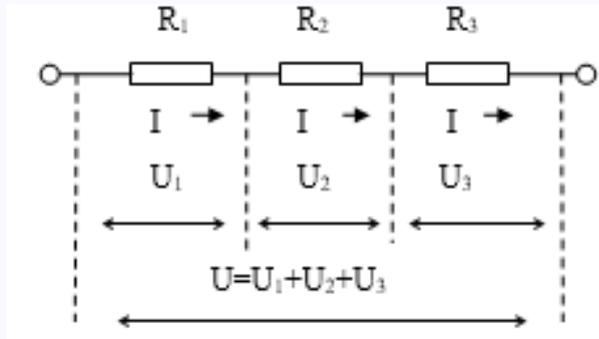


Рисунок 56

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (9.4)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 160 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Для последовательного соединения свойственны две закономерности:

1. Сила тока во всех проводниках одинакова.
2. Напряжение на участке из последовательно соединенных проводников равно сумме напряжений на каждом из них.

При *параллельном* соединении сопротивлений (см. рисунок 57):

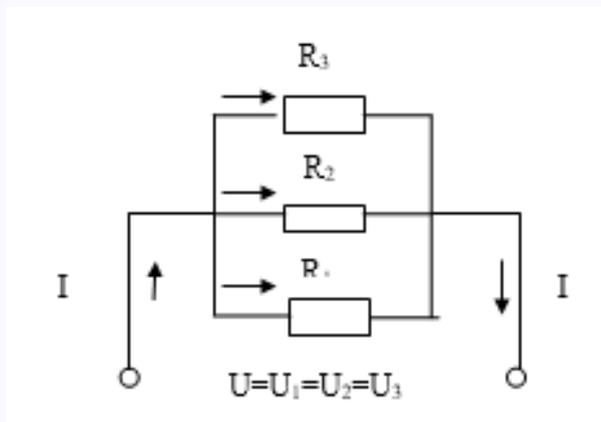


Рисунок 57

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (9.5)$$

Для параллельного соединения свойственны две закономерности:

1. Напряжение на каждом из проводников одинаково и равно напряжению на всем участке параллельно соединенных проводников.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 161 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

2. Общая сила тока на участке равна сумме сил токов в ветвях этого участка цепи.

*Пример решения задачи.*

В электрической схеме (см. рисунок 58) сопротивление резисторов  $R_1 = 2\text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6\text{ Ом}$ ,  $R_3 = 4\text{ Ом}$ ,  $R_4 = 8\text{ Ом}$ ,  $R_5 = 5\text{ Ом}$ . Напряжение  $U_{ab} = 98\text{ В}$ . Найдите напряжение на сопротивлении  $R_1$ .

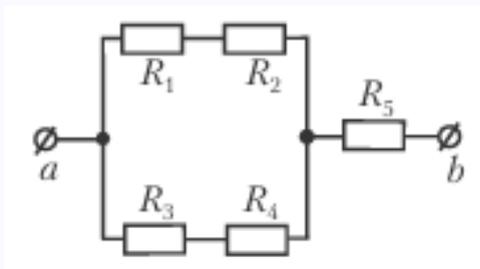


Рисунок 58

Воспользовавшись формулой (9.3) можно записать:

$$U_1 = I_1 R_1$$

Из закона сохранения электрического заряда (8.2) следует, что общая сила тока в цепи равна сумме сил токов в ее ветвях:

$$I = I_1 + I_2$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 162 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

С другой стороны (9.3):

$$I = \frac{U_{ab}}{R_{ab}}$$

Согласно (9.4):

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 80\text{М}$$

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 120\text{М}$$

Согласно (9.5):

$$\frac{1}{R_{1234}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{34}}$$

Следовательно:

$$R_{1234} = \frac{R_{12}R_{34}}{R_{12} + R_{34}} = 4,80\text{М}$$

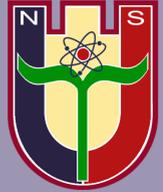
Тогда, согласно (9.4):

$$R_{ab} = R_{1234} + R_5 = 9,80\text{М}$$

И общая сила тока  $I = 10\text{А}$ .

Так как напряжение на параллельных участках цепи одинаково, можно записать:

$$I_1 R_{12} = I_2 R_{34}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 163 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Следовательно:

$$I_2 = \frac{2}{3}I_1$$

$$I = I_1 + \frac{2}{3}I_1 = \frac{5}{3}I_1$$

$$I_1 = \frac{3}{5}I = 6\text{A}$$

$$U_1 = 12\text{V}$$

Пример решения задачи.

В электрической схеме (см. рисунок 59)  $R = 6\text{Ом}$ ,  $I = 2\text{А}$ . Найдите напряжение на участке цепи.

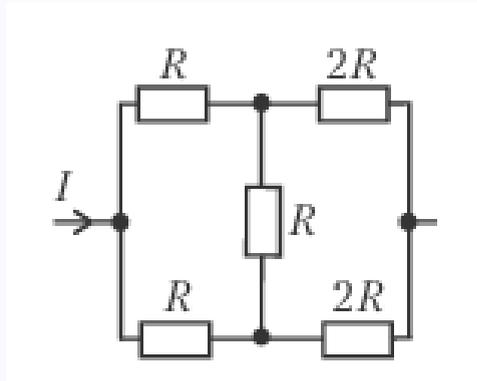
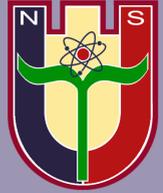


Рисунок 59



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 164 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Воспользовавшись формулой закона Ома (9.3) можно записать:

$$U = IR_o$$

Найдем общее сопротивление данного участка  $R_o$ . В электрической схеме (см. рисунок 59) ток через резистор  $R$  в центре рисунка не идет, так как потенциалы в точках соединения резистора с цепью одинаковы. Поэтому данный резистор можно не рассматривать и схема значительно упрощается.

Согласно (9.4):

$$R_1 = R + 2R = 3R$$

$$R_2 = R + 2R = 3R$$

Согласно (9.5):

$$\frac{1}{R_o} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3R} + \frac{1}{3R} = \frac{2}{3R}$$

Следовательно:

$$U = \frac{3IR}{2} = 18B$$

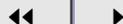
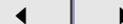
Третья группа задач по данной теме это задачи на закон Ома для замкнутой (полной) цепи.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 165 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Электродвижущая сила (ЭДС) - работа сторонней силы по перемещению единичного положительного заряда внутри источника тока от его отрицательного полюса к положительному:*

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q} \quad (9.6)$$

*Закон Ома для замкнутой (полной) цепи (см. рисунок 60):*

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (9.7)$$

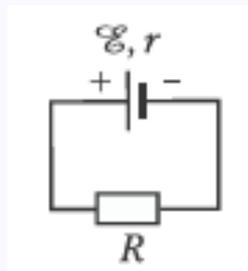


Рисунок 60

*Сила тока короткого замыкания:*

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r} \quad (9.8)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 166 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

При решении задач на электрические цепи удобно пользоваться следующим квазиалгоритмом:

### КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ



1. Сделайте схематический рисунок электрической цепи и укажите на нем все элементы цепи и их характеристики (источники тока, резисторы, конденсаторы и др., предполагаемые направления токов, сопротивления, напряжения и ЭДС на отдельных участках).
2. Выделите элементы цепи, соединенные последовательно и параллельно, а при необходимости замените рассматриваемую схему цепи эквивалентной; используя законы постоянного тока. Установите связь между сопротивлениями, токами, напряжениями и ЭДС

*Пример решения задачи.*

*Два параллельно соединенных резистора, сопротивления резисторов  $R_1 = 2\text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2\text{ Ом}$ , подключили к источнику тока с ЭДС  $10\text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $1\text{ Ом}$ . Определите напряжение и силу тока на каждом из резисторов.*

*Воспользовавшись формулой закона Ома для однородного участка цепи(9.3) можно записать:*

$$U = IR$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 167 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Общее сопротивление  $R$  найдем используя формулу (9.5):

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 10 \text{ Ом}$$

Общую силу тока в цепи найдем используя формулу (9.7):

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = 5 \text{ А}$$

Следовательно:

$$U = 5 \text{ В}$$

Воспользовавшись формулой закона Ома для однородного участка цепи (9.3) легко получить:

$$I_1 = I_2 = 2,5 \text{ А}$$

Пример решения задачи.

При замыкании источника тока резистором  $R_1 = 8 \text{ Ом}$  в цепи возникает сила тока  $I_1 = 1 \text{ А}$ , при замыкании резистором  $R_2 = 4 \text{ Ом}$  сила тока  $I_2 = 1,6 \text{ А}$ . Найдите силу тока короткого замыкания.

Воспользовавшись формулой (9.8) запишем:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Согласно закона Ома для замкнутой цепи (9.7):

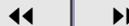
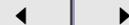
$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 168 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}$$

Решив полученную систему из двух уравнений, запишем:

$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} = 2,7 \text{ Ом}$$

Тогда:

$$\varepsilon = I_1 (R_1 + r) = 10,7 \text{ В}$$

Окончательно:

$$I_{\text{кз}} = 3,96 \text{ А}$$

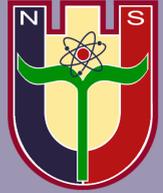
Последняя группа задач по данной теме - это задачи на работу и мощность тока.

При прохождении электрического тока по цепи электрическим полем совершается работа, так называемая *работа тока*:

$$A = qU = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (9.9)$$

*Мощность тока*:

$$P = \frac{A}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (9.10)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 169 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

При прохождении электрического тока проводником выделяется тепло. При этом количество теплоты определяется *законом Джоуля-Ленца*:

$$Q = I^2 R t \quad (9.11)$$

*Работа источника тока* – это работа сторонних сил:

$$A_{\text{ист}} = \varepsilon q = I \varepsilon t \quad (9.12)$$

*Полезная мощность*:

$$P_{\text{полезн}} = I^2 R \quad (9.13)$$

*Теряемая мощность*:

$$P_{\text{тер}} = I^2 r \quad (9.14)$$

*Полная мощность*:

$$P_{\text{полн}} = P_{\text{полезн}} + P_{\text{тер}} = I^2 R + I^2 r = I \varepsilon = P_{\text{ист}} \quad (9.15)$$

*Коэффициент полезного действия источника тока*:

$$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{полн}}} 100\% = \frac{R}{R + r} 100\% \quad (9.16)$$

*Пример решения задачи.*

*Номинальная мощность лампочки 36 Вт, ее номинальное напряжение 120 В. Какая в ней будет выделяться мощность при включении в сеть с напряжением 220 В?*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 170 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Выразим сопротивление лампочки при номинальном режиме работы используя формулу (9.10):

$$P_n = \frac{U_n^2}{R}$$

$$R = \frac{U_n^2}{P_n}$$

Тогда:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2}{U_n^2} P_n = 121 \text{ Вт}$$

Пример решения задачи.

Спираль нагревателя, сопротивление которой 36 Ом подключили к источнику тока с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением 4 Ом. Определите количество теплоты, которое выделится нагревателем за 3 мин.

Согласно закону Джоуля-Ленца (9.11):

$$Q = I^2 R t$$

Из закона Ома для замкнутой цепи (9.7):

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 171 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Тогда:

$$Q = \frac{\varepsilon^2}{(R + r)^2} t = 16,2 \text{ Дж}$$

Пример решения задачи.

К источнику с ЭДС 12 В подключено сопротивление 3 Ом. Найдите КПД цепи если ток короткого замыкания равен 6 А.

Согласно (9.16):

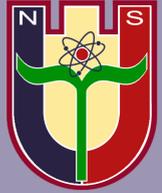
$$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{полн}}} 100\% = \frac{R}{R + r} 100\%$$

Исходя из (9.8):

$$r = \frac{\varepsilon}{I_{\text{кз}}}$$

Тогда:

$$\eta = \frac{IR}{IR + \varepsilon} 100\% = 60\%$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 172 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 10.

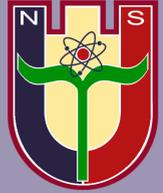
### Решение задач по теме «Магнитное поле. Электромагнитная индукция».

Магнитное поле тока. Индукция магнитного поля. Принцип суперпозиции магнитных полей. Закон Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Магнитный поток. Электромагнитная индукция. ЭДС индукции. Закон электромагнитной индукции. Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

Литература: [1, с. 128–129], [6, с. 296–303], [8, с. 305–337]

В курсе физики учреждений общего среднего образования магнитные явления изучаются в восьмом и десятом классах. При этом решается большое количество качественных задач: на правило правой руки (буравчика) для определения направления вектора магнитной индукции, на правило левой руки для определения направления силы Ампера и силы Лоренца, на правило Ленца для определения направления индукционного тока. Причем в теме «Индукция магнитного поля. Линии магнитной индукции» формулы для определения величины магнитного поля прямолинейного и кругового проводника с током не изучаются и соответственно такие количественные задачи не решаются.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие группы физических задач, которые используются в процессе



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



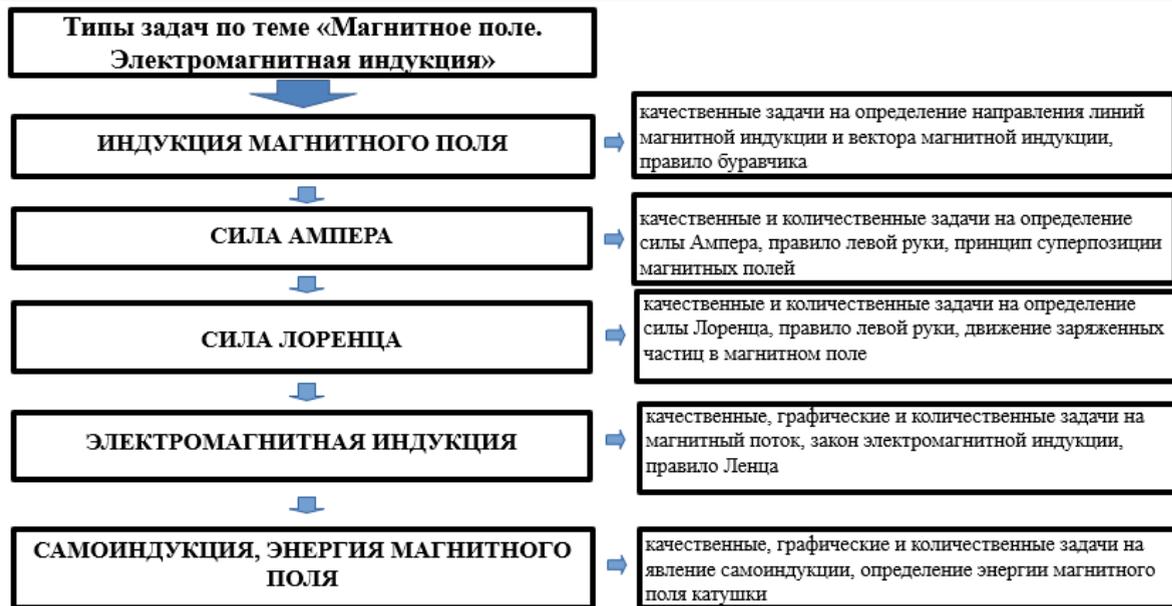
Страница 173 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

изучения темы «Магнитное поле. Электромагнитная индукция»:



Важно, чтобы учащиеся усвоили, что не смотря на то, что магнитное поле, подобно электрическому изображают при помощи воображаемых силовых линий, между ними есть существенное различие. Линии магнитной индукции замкнуты. Магнитных зарядов не существует. Источником постоянного магнитного поля является постоянный электрический ток.

При решении задач школьного курса магнетизма принято пользо-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 174 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

ваться следующим общим квазиалгоритмом:

## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ИНДУКЦИЮ



При составлении математических моделей физических систем, используемых в процессе решения задач по данной теме, целесообразно использовать общее алгоритмическое предписание, приведенное ранее, изменив отдельные указания с учетом новых понятий, формул и законов, характеризующих электромагнитные явления.

В частности алгоритмические указания применительно к задачам по данной теме могут быть сформулированы следующим образом:

Укажите на схематическом рисунке направление магнитного поля и тока (скорости движения заряда); определите направление силы Ампера (силы Лоренца), используя правило левой руки, и направление индукционного тока, используя правило Ленца или правило правой руки.

Выразите силы, обусловленные взаимодействием с магнитным полем, через токи (заряды) и индукцию магнитного поля; составьте систему уравнений, являющихся математической моделью задачи.

Первая группа задач по данной теме - это задачи на определение направления линий магнитной индукции и вектора магнитной индукции. При этом рассматриваются магнитные поля постоянного магнита, прямолинейного проводника с током и кругового проводника с током.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 175 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

*Магнитное поле плоского магнита:*

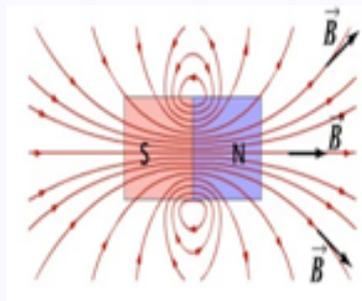


Рисунок 61

*Магнитное поле прямолинейного проводника с током (правило правой руки):*

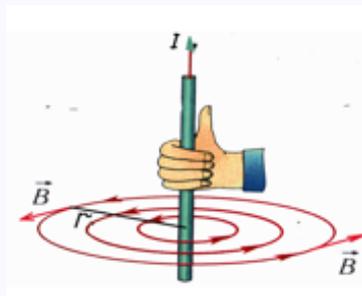


Рисунок 62



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 176 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Магнитное поле кругового проводника с током (правило правой руки):

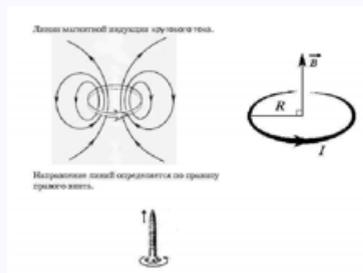


Рисунок 63

Магнитное поле соленоида:

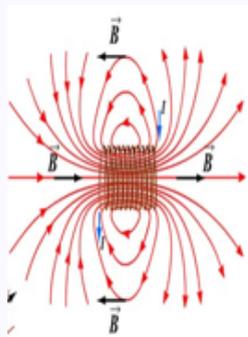


Рисунок 64



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 177 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Пользуясь правилом буравчика, необходимо помнить, что направление тока - это направление движения положительно заряженных частиц. Если на рисунке к задаче изображен прямолинейный проводник с током, расположенный перпендикулярно плоскости страницы, и при этом ток направлен от наблюдателя, то его обозначают крестиком. В случае, если ток направлен к наблюдателю, - точкой.

В случае, когда магнитное поле образовано несколькими источниками, суммарная магнитная индукция в данной точке пространства определяется исходя из принципа суперпозиции, аналогичному принципу суперпозиции для электростатических полей:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n \quad (10.1)$$

*Пример решения задачи.*

*Четыре прямолинейных проводника расположены параллельно друг к другу образуя квадрат. Найдите величину вектора магнитной индукции в центре квадрата. Сила тока в проводниках одинакова. В трех проводниках ток течет в одну сторону, в одном в другую. Величина вектора магнитной индукции, создаваемая в центре каждым из токов равна 0,04 Тл.*

*Воспользовавшись правилом правой руки (см. рисунок 62) сделаем рисунок к задаче (см. рисунок 65):*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 178 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

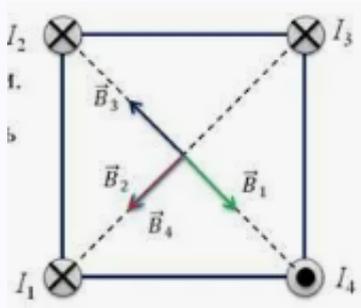


Рисунок 65

Согласно (10.1):

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4$$

Проведем ось  $OX$  по направлению вектора  $\vec{B}_1$ , а ось  $OY$  по направлению вектора  $\vec{B}_2$ . В проекциях на оси получим:

$$B_x = B_1 - B_3 = 0$$

$$B_y = B_2 + B_4 = 0,08 \text{Тл}$$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = 0,08 \text{Тл}$$

Пример решения задачи.

По двум круговым виткам с одинаковыми радиусами течет ток одинаковой величины. Витки имеют общий центр, а их плоскости



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 179 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

перпендикулярны друг другу. Для каждого из них модуль магнитной индукции равен 0,4 Тл. Определите модуль вектора магнитной индукции результирующего поля (см. рисунок 66).

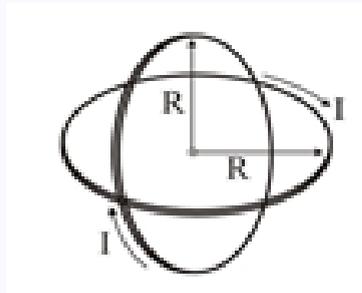


Рисунок 66

Воспользовавшись правилом буравчика (см. рисунок 63) легко определить что, вектора  $\vec{B}_1$  и  $\vec{B}_2$  взаимно перпендикулярны. Следовательно:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = 0,57 \text{ Тл}$$

Вторая группа задач по данной теме - это задачи на определение силы Ампера.

Как известно, величина *силы Ампера* определяется выражением:

$$F_A = IBL \sin \alpha \quad (10.2)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 180 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Направление силы Ампера определяется по *правилу левой руки* (см. рисунок 67): если ладонь левой руки расположить так, чтобы в нее

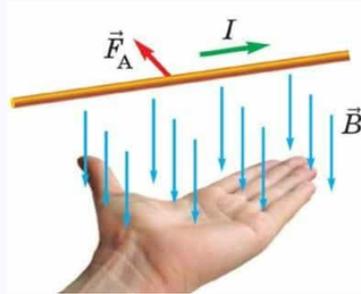


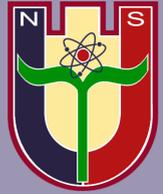
Рисунок 67

входил вектор  $\vec{B}$ , а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера.

*Пример решения задачи.*

Прямолинейный проводник длиной 0,2 м и массой 0,1 кг подвешен горизонтально, на легких нерастяжимых нитях, в однородном магнитном поле, направленном вертикально. Найдите силу тока, который надо пропустить по проводнику, чтобы он отклонился на  $45^\circ$ . Модуль индукции магнитного поля равен 0,4 Тл.

Очевидно, что проводник отклонится от первоначального положения под действием силы Ампера. Обозначим на рисунке к задаче (см.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 181 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

рисунок 68) все силы, действующие на проводник:

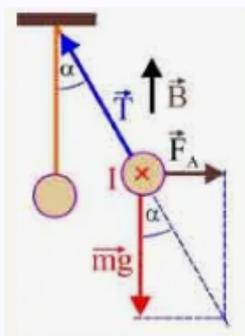


Рисунок 68

Запишем первое условие равновесия(4.1) :

$$\vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_A = 0$$

Тогда, в проекциях на оси, с учетом формулы(10.2) можно записать:

$$T \sin \alpha = IBL$$

$$T \cos \alpha = mg$$

Разделив одно уравнение на другое, получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{IBL}{mg}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 182 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Окончательно:

$$I = \frac{mgtg\alpha}{BL} = 25A$$

*Пример решения задачи.*

*Проводник длиной 140 см согнули под прямым углом так, что одна из сторон угла равна 60 см и поместили в однородное магнитное поле с индукцией 2 мТл обеими сторонами перпендикулярно линиям индукции. Какая сила будет действовать на этот проводник, если по нему пропустить ток силой 10 А?*

На каждую из сторон угла действует сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки. Так как угол между силами прямой, то величину результирующей силы найдем по теореме Пифагора:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = IB\sqrt{l_1^2 + l_2^2} = 20\text{мН}$$

Следующая группа задач по данной теме - это задачи на движение заряженных частиц в магнитном поле. Также как и на проводник с током, магнитное поле действует и на движущийся в нем отдельный заряд. Процесс взаимодействия движущихся зарядов с внешним магнитным полем исследовался датским физиком Лоренцем.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 183 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Действующая на заряженную частицу со стороны магнитного поля сила Лоренца не меняет величину скорости, а меняет ее направление. Как известно, величина *силы Лоренца* определяется выражением:

$$F_{\text{л}} = qvB\sin\alpha \quad (10.3)$$

Направление силы Лоренца определяется по *правилу левой руки* (см. рисунок 69):

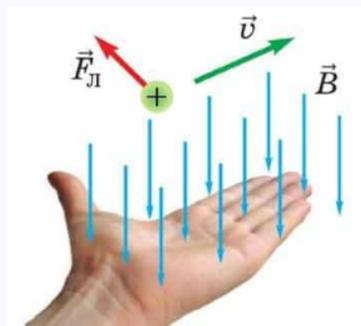


Рисунок 69

Если частица несет отрицательный заряд, то сила Лоренца направлена в противоположную сторону, указанной на рисунке (см. рисунок 69).

*Пример решения задачи.*

*Перпендикулярно линиям магнитной индукции в однородное магнитное поле влетает протон и  $\alpha$ -частица, ускоренные одинаковой раз-*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 184 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

ностью потенциалов. Найдите отношение радиусов кривизны их траекторий ( $m_\alpha = 4m_p$  и  $q_\alpha = 2q_p$ ).

Согласно второму закону Ньютона (3.2) можно записать:

$$F_\alpha = m_\alpha a_\alpha$$

$$F_p = m_p a_p$$

Из формулы (10.3) следует:

$$F_\alpha = q_\alpha v_\alpha B$$

$$F_p = q_p v_p B$$

Так как частицы движутся с центростремительными ускорениями, воспользовавшись формулой (2.21) легко получить следующие выражения:

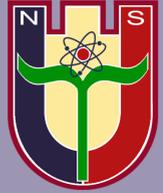
$$q_\alpha B = \frac{m_\alpha v_\alpha}{R_\alpha}$$

$$q_p B = \frac{m_p v_p}{R_p}$$

Тогда:

$$\frac{R_\alpha}{R_p} = \frac{m_\alpha v_\alpha q_p}{m_p v_p q_\alpha}$$

Воспользовавшись формулой (8.12) и тем, что в нашем случае работа сил электрического поля идет на сообщение частицам кинетической энергии, можно записать:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 185 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть



$$q_{\alpha}U = \frac{m_{\alpha}v_{\alpha}^2}{2}$$
$$q_pU = \frac{m_p v_p^2}{2}$$

*Разделив одно уравнение на другое, легко получить:*

$$v_p = \sqrt{2}v_{\alpha}$$

*Подставляя последнее соотношение и данные из условия задачи в формулу для отношения радиусов, окончательно получим:*

$$\frac{R_{\alpha}}{R_p} = \sqrt{2}$$

Пятая группа задач по данной теме - это задачи на явление электромагнитной индукции.

Условием возбуждения индукционного тока в контуре является изменение потока магнитной индукции, пронизывающего площадь этого контура. Если магнитное поле однородно то *магнитный поток*

$$\Phi = BS\cos\alpha \quad (10.4)$$

где  $B$  – магнитная индукция,  $\alpha$  – угол между направлением вектора магнитной индукции и нормалью к поверхности (см. рисунок 70):

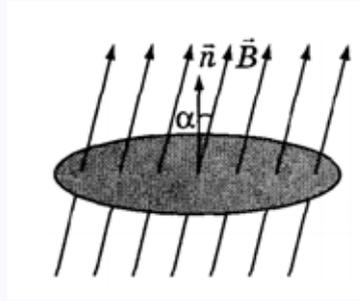


Рисунок 70

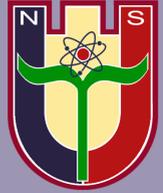
Величина ЭДС индукции определяется скоростью изменения магнитного потока (закон электромагнитной индукции):

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (10.5)$$

Знак «-» в законе электромагнитной индукции (закон Фарадея) отражает направление индукционного тока, так называемое *правило Ленца*: *индуцированный ток имеет такое направление, что его собственное магнитное поле компенсирует изменение магнитного потока, вызывающее этот ток.*

Закон Фарадея применим не только к отдельному контуру (витку), но и к катушке, которую можно представить как  $N$  витков:

$$\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (10.6)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 187 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Пример решения задачи.*

*Металлическое кольцо, площадь которого  $0,08 \text{ м}^2$ , а сопротивление  $4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ , помещено в однородное магнитное поле так, что плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции поля. Какое количество теплоты (в мкДж) выделяется в кольце за  $0,1 \text{ с}$ , если индукция магнитного поля убывает со скоростью  $0,01 \text{ Тл/с}$ ?*

*Согласно закону Джоуля-Ленца (9.11):*

$$Q = I^2 R t$$

*Из закона Ома для замкнутой цепи (9.7):*

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R}$$

*Воспользовавшись законом электромагнитной индукции (10.5) легко получить:*

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B S}{\Delta t}$$

*Подставляя все в закон Джоуля-Ленца окончательно получим:*

$$Q = \left(\frac{\varepsilon_i}{R}\right)^2 R \Delta t = \left(\frac{\Delta B S}{\Delta t}\right)^2 \frac{\Delta t}{R} = 16 \text{ мкДж}$$

*ЭДС индукции может наводиться не только в замкнутом контуре, при изменении магнитного потока, но и в прямолинейном проводнике, движущемся в магнитном поле.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 188 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Пример решения задачи.

Проводник длиной 2 м движется со скоростью 10 м/с в однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл. Вектор скорости перпендикулярен проводнику и образует с линиями индукции угол  $30^\circ$ . Найдите ЭДС, индуцируемую в проводнике.

На заряженные частицы в проводнике, движущемся в магнитном поле, будет действовать сила Лоренца (10.3)

$$F_{\text{л}} = qvB\sin\alpha$$

Эта сила, будет играть роль сторонней силы. Согласно (9.6):

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

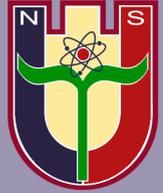
Согласно (5.8):

$$A_{\text{ст}} = F_{\text{л}}l$$

Тогда:

$$\varepsilon = \frac{(qvB\sin\alpha)l}{q} = Blv\sin\alpha = 2B$$

Последняя группа задач по данной теме - это задачи на явление самоиндукции и энергию магнитного поля.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 189 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Ток, текущий по контуру создает вокруг себя магнитное поле. Магнитный поток, связанный с контуром, пропорционален силе тока в контуре:

$$\Phi = LI \quad (10.7)$$

где  $L$  - индуктивность.

*Электродвижущая сила самоиндукции:*

$$\varepsilon_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (10.8)$$

*Энергия магнитного поля:*

$$W = \frac{LI^2}{2} \quad (10.9)$$

*Пример решения задачи.*

*Магнитный поток через площадь контура, создаваемый током 10 А, текущим по контуру, равен 0,9 мВб. Определите ЭДС самоиндукции (в мВ), возникающую в контуре при равномерном убывании силы тока до 5 А за 1 мс.*

Согласно (10.7):

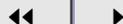
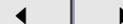
$$L = \frac{\Phi}{I}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 190 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Используя (10.8) получим:

$$\varepsilon_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Phi \Delta I}{I \Delta t} = 450 \text{ мВ}$$

*Пример решения задачи.*

*Сила тока в катушке равномерно увеличилась от 5 А до 10 А. При этом энергия магнитного поля увеличилась на 3 Дж. Найдите индуктивность катушки.*

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{LI_2^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2} = \frac{L}{2}(I_2^2 - I_1^2)$$

*Следовательно:*

$$L = \frac{2\Delta W}{I_2^2 - I_1^2} = 0,08 \text{ Гн}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 191 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 11.

### Решение задач по теме «Колебания и волны».

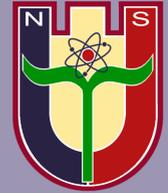
Механические колебания. Уравнение гармонических колебаний. Координата, скорость и ускорение в колебательном движении. Математический и пружинный маятники. Превращения энергии при гармонических колебаниях. Поперечные и продольные волны. Связь длины волны со скоростью ее распространения и периодом (частотой). Звуковые волны. Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания в контуре. Переменный ток. Электромагнитные волны и скорость их распространения. Энергия электромагнитной волны.

Литература: [1, с. 113–115], [6, с. 324–362], [8, с. 338–366]

В современной методике обучения физике существуют два подхода к изучению раздела «Колебания и волны». При изучении колебаний и волн различной природы их либо объединяют вместе, либо изучают в соответствующих разделах - механические колебания при изучении механики, а электромагнитные - при изучении электродинамики.

В белорусской школе используется первый подход: механические и электромагнитные колебания изучаются в 11 классе одним блоком, состоящим из двух подразделов.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие группы физических задач, которые используются в процессе



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



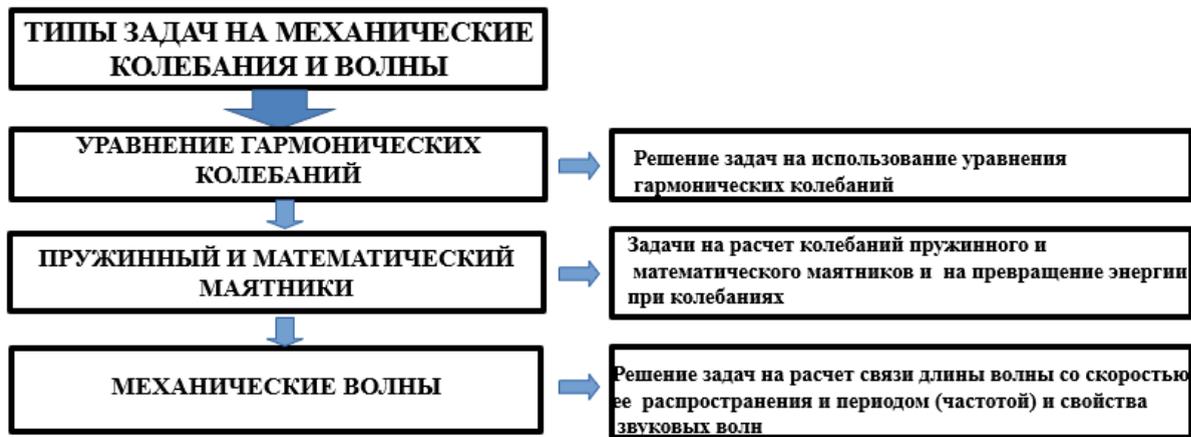
Страница 192 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

изучения темы «Механические колебания и волны»:



Как видно, из приведенной классификации, при решении задач, по данной теме, в школе рассматривают наиболее простые - гармонические колебания. При решении задач обучающиеся должны усвоить отличия, которые имеет колебательное движение по сравнению с поступательным и вращательным. Сначала решают задачи на кинематику материальной точки при механических колебаниях, затем задачи на динамику математического и пружинного маятников и наконец задачи на превращение энергии при механических колебаниях. Колебания в упругой среде рассматривают решая задачи на звуковые волны.

При решении задач по разделу «Механические колебания и волны» можно пользоваться следующим квазиалгоритмом:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 193 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

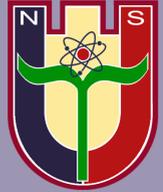
## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ



1. Проанализируйте физическую ситуацию, описанную в задаче, и выделите материальные объекты, имеющие отношение к ней, выберите систему отсчета.
2. Сконструируйте из объектов задачи колебательную систему и оцените возможность использования гармонического осциллятора в качестве идеальной модели для ее описания.
3. Определите положение устойчивого равновесия колебательной системы и выясните, под действием каких сил происходят колебания.
4. Выберите кинематико-динамический или энергетический способ описания колебательной системы.
5. Сделайте схематический рисунок и укажите на нем кинематические, динамические и энергетические характеристики колебательной системы.
6. Составьте уравнения колебаний в динамическом или энергетической форме (с учетом начальных условий, кинематических связей и геометрических соотношений между элементами колебательной системы). Решите составленные уравнения в общем виде.
7. Проверьте правильность решения в общем виде. Выполните числовые расчеты. Проанализируйте результаты

Первая группа задач по данной теме - это качественные, графические и количественные задачи на уравнение гармонических колебаний.

*Колебательным движением* называется процесс, при котором система, многократно отклоняясь от своего состояния равновесия, каждый раз вновь возвращается к нему. Если этот возврат совершается через



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 194 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

равные промежутки времени, то колебание называется *периодическим*. В случае *гармонических* колебаний колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса.

*Период колебаний:*

$$T = \frac{t}{N} \quad (11.1)$$

*Частота колебаний:*

$$\nu = \frac{N}{t} \quad (11.2)$$

*Циклическая частота:*

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad (11.3)$$

*Уравнение гармонических колебаний:*

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (11.4)$$

*или*

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (11.5)$$

Уравнение гармонических колебаний является кинематическим законом движения в случае механических колебаний.

Графиком гармонического колебания является синусоида (или косинусоида). По графику колебаний можно определить все характеристики колебательного движения (**см. рисунок 71**):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 195 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

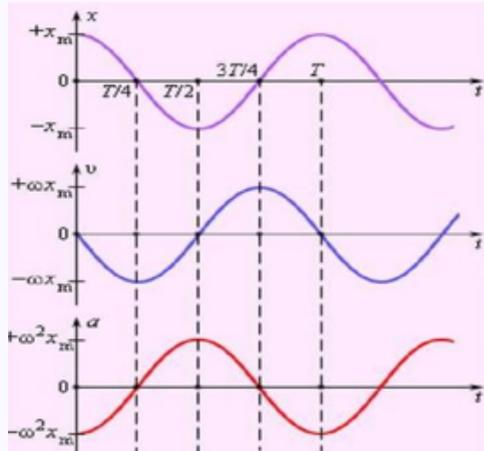


Рисунок 71

*Пример решения задачи.*

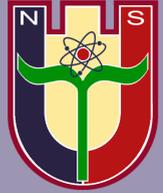
*Точка струны совершает колебания с частотой 1 кГц. Какой путь в (см) пройдет эта точка за 1,2 с, если амплитуда колебаний 1 мм?*

*За период колеблющаяся точка проходит путь, равный четырем амплитудам. Таким образом:*

$$s = 4AN$$

*Согласно формуле (11.2):*

$$N = \nu t$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 196 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Следовательно:

$$s = 4Avt = 480\text{см}$$

Пример решения задачи.

На рисунке (см. рисунок 72) изображен график зависимости координаты тела, совершающего гармонические колебания, от времени. Найдите амплитуду, период и частоту колебаний.

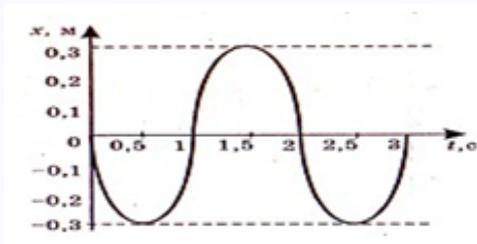


Рисунок 72

Амплитуда – максимальное отклонение колеблющегося тела от положения равновесия. В нашем случае –  $0,3$  м. Период колебаний – время одного полного колебания. В нашем случае –  $2$  с. Используя формулы (11.1) и (11.2) легко получить, что частота:

$$\nu = \frac{1}{T} = 0,5\text{Гц}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 197 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Пример решения задачи.*

*Через сколько секунд от начала движения точка, совершающая колебания по закону косинуса, сместится от начального положения на половину амплитуды? Период колебаний 24 с.*

С учетом того, что по условию задачи  $\varphi_0 = 0$  и  $x = \frac{A}{2}$ , используя выражение (11.5) легко получить:

$$\frac{A}{2} = A \cos(\omega t)$$

Из

$$\cos(\omega t) = \frac{1}{2}$$

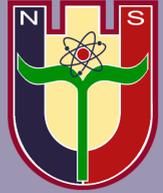
получим:

$$\omega t = \frac{\pi}{3}$$

Используя (11.3) можно получить:

$$t = \frac{T}{6} = 4\text{с}$$

Вторая группа задач по данной теме - это задачи на математический и пружинный маятники, закон сохранения энергии при механических колебаниях.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 198 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Период колебаний математического маятника вблизи поверхности Земли:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (11.6)$$

Период колебаний пружинного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (11.7)$$

Закон сохранения энергии для математического маятника:

$$mgh + \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2} = mgh_{max} \quad (11.8)$$

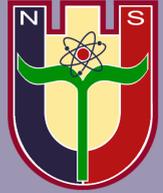
Закон сохранения энергии для пружинного маятника:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \quad (11.9)$$

Пример решения задачи.

На сколько процентов увеличится период колебаний математического маятника при помещении его в кабину скоростного лифта, опускающегося с ускорением  $0,36g$ ?

Формула (11.6) справедлива для покоящегося математического маятника или движущегося с постоянной скоростью:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 199 из 320

Назад

На весь экран

Закреть



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

В нашем случае, так как маятник движется с ускорением, период колебаний будет другим:

$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$$

Найдем  $g'$  используя второй закон Ньютона (3.2), который будет иметь следующий вид:

$$\vec{F}_H + m\vec{g} = m\vec{a}$$

В проекциях на ось  $OY$ :

$$mg - F_H = ma$$

Следовательно:

$$F_H = m(g - a)$$

Таким образом:

$$g' = g - a = 0,64g$$

и

$$T' = 1,25T$$

То есть период увеличится на 25%.

Пример решения задачи.

Шарик, подвешенный на пружине, отвели из положения равновесия вертикально вниз на 3 см и сообщили ему начальную скорость 1 м/с, после чего шарик стал совершать вертикальные гармонические колебания с циклической частотой 25 рад/с. Найдите амплитуду (в см) этих колебаний.

Воспользуемся законом сохранения энергии (11.9):

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

Из (11.3) и (11.7) легко получить:

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

Тогда:

$$\frac{v^2}{\omega^2} + x^2 = A^2$$

и

$$A = \sqrt{x^2 + \frac{v^2}{\omega^2}} = 5 \text{ см}$$

Последняя группа задач - это задачи на механические волны.

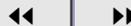
Длиной волны (см. рисунок 73) называется расстояние между ближайшими точками волны, совершающими колебания в одной фазе.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 201 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

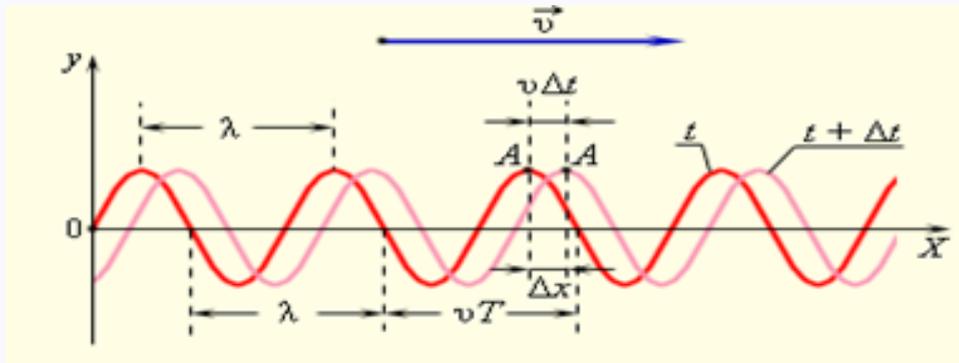


Рисунок 73

*Длина волны:*

$$\lambda = vT \quad (11.10)$$

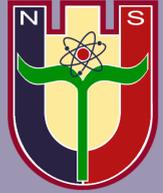
$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (11.11)$$

*Пример решения задачи.*

*Рыболов заметил, что за 10 с поплавок совершил на волнах 20 колебаний, а расстояние между соседними гребнями волн 1,2 м. Какова скорость распространения волн?*

*Расстояние между соседними гребнями это длина волны. Согласно формуле (11.10):*

$$\lambda = vT$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 202 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Воспользовавшись формулой (11.1) легко получить:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda N}{t} = 2,4 \text{ м/с}$$

*Пример решения задачи.*

*Звук взрыва, произведенного в воде вблизи поверхности, приборы, установленные на корабле и принимающие звук по воде, зарегистрировали на 45 с раньше, чем он пришел по воздуху. На каком расстоянии от корабля произошел взрыв? Скорость звука в воздухе 340 м/с, скорость звука в воде 1540 м/с.*

*Согласно формуле (2.5) время движения звука в воде:*

$$t_1 = \frac{s}{v_1}$$

*Время движения звука в воздухе:*

$$t_2 = \frac{s}{v_2}$$

*Тогда:*

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{s}{v_2} - \frac{s}{v_1} = \frac{s(v_1 - v_2)}{v_1 v_2}$$

*Окончательно:*

$$s = \frac{v_1 v_2}{v_1 - v_2} \Delta t = 19365 \text{ м}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 203 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие группы физических задач, которые используются в процессе изучения темы «Электромагнитные колебания и волны»:



Таким образом, при изучении электромагнитных колебаний, сначала решают задачи на формулу Томсона, затем задачи на закон сохранения энергии в идеальном колебательном контуре.

При рассмотрении цепей переменного тока используют только уравнения гармонических колебаний для ЭДС, напряжения и силы тока. Задачи на трансформатор из программы на базовом уровне удалены.

При изучении электромагнитных волн решаются элементарные задачи с использованием формулы для длины волны.

При решении задач по разделу «Электромагнитные колебания и вол-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 204 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

ны» можно пользоваться следующим квазиалгоритмом:

## КВАЗИАЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ



Решение задач группы основано на использовании формулы для расчета периода (частоты) собственных электромагнитных колебаний и закона сохранения и превращения энергии применительно к идеальному колебательному контуру. Поэтому в процессе анализа задач прежде всего, необходимо выявить неизвестные параметры контура и выяснить можно ли в качестве модели рассматриваемой колебательной системы использовать «идеальный колебательный контур». После этого нужно записать уравнение для мгновенных значений заряда и напряжения на конденсаторе и силы тока в катушке индуктивности, а при использовании энергетического метода необходимо также записать выражение для полной энергии контура в произвольный момент времени. Если потерями энергии в контуре пренебречь нельзя, то для определения частоты (периода) собственных электромагнитных колебаний необходимо воспользоваться формулой Томсона. В некоторых задачах дополнительно необходимо использовать формулы для расчета емкости плоского конденсатора, индуктивности катушки и длины электромагнитной волны, на которую резонирует контур.

Источниками электромагнитного поля служат переменные токи. В качестве источника электромагнитных волн высокой частоты используется так называемый колебательный контур. Простейший колебательный контур состоит из конденсатора и катушки (см. рисунок 74):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 205 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

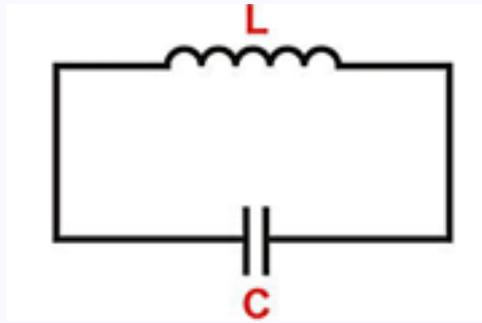


Рисунок 74

Период возникающих электромагнитных колебаний определяется формулой Томсона:

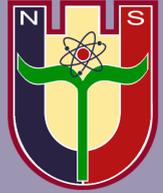
$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (11.12)$$

В случае идеального колебательного контура полная энергия контура остается величиной постоянной:

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \quad (11.13)$$

*Пример решения задачи.*

*Как изменится период свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре, если индуктивность катушки уменьшить в 9 раз при неизменной емкости конденсатора?*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 206 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Согласно формуле (11.12):

$$T_1 = 2\pi\sqrt{L_1C}$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{L_2C}$$

где

$$L_2 = \frac{L_1}{9}$$

Разделив одно уравнение на другое, легко получить:

$$T_2 = \frac{T_1}{3}$$

*Пример решения задачи.*

*Идеальный колебательный контур содержит конденсатор емкостью 8 пкФ и катушку, индуктивность которой 0,2 мГн. Найдите максимальное напряжение на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока равна 40 мА.*

*Воспользовавшись законом сохранения энергии в виде (11.13), получим:*

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$$

*Откуда:*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 207 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

$$U_m = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} = 200V$$

Вторая группа задач - это задачи на гармонические колебания ЭДС, напряжения и силы тока.

Вынужденные электромагнитные колебания (переменный ток) происходят под действием внешней периодически изменяющейся ЭДС с использованием генераторов переменного тока. Для таких колебаний справедливы следующие соотношения:

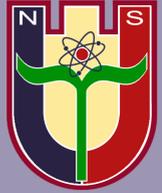
$$q = q_m \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (11.14)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (11.15)$$

$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (11.16)$$

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (11.17)$$

*Пример решения задачи.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 208 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Запишите закон изменения силы тока со временем (см. рисунок 75).  
Найдите силу тока в момент времени 5 мс.

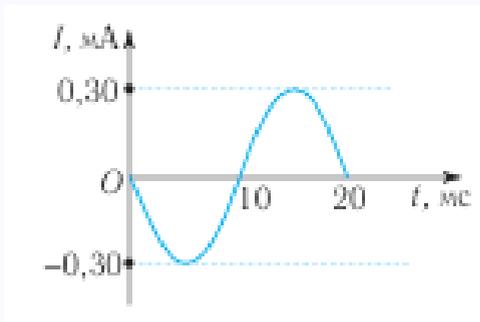


Рисунок 75

Из графика видно, что  $I_m = 0,3 \text{ мА}$ ,  $T = 20 \text{ мс}$ ,  $\varphi_0 = 0$ .

Циклическую частоту найдем из формулы (11.3):

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi$$

Воспользовавшись формулой (11.17) запишем закон зависимости силы тока от времени:

$$I = -0,3\sin 100\pi t (\text{мА})$$

Подставив в данное выражение  $t = 5 \text{ мс}$  получим:

$$I = -0,3 (\text{мА})$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 209 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Последняя группа задач - это задачи на электромагнитные волны.  
Длина электромагнитной волны в вакууме определяется выражением:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} \quad (11.18)$$

*Пример решения задачи.*

*Во сколько раз нужно увеличить емкость контура радиоприемника, настроенного на частоту 6 МГц, чтобы можно было слушать радиостанцию, работающую на длине волны 100 м.*

*Воспользовавшись формулами (11.18) и (11.12) можно записать:*

$$\lambda_1 = 2\pi c\sqrt{LC_1}$$

$$\lambda_2 = 2\pi c\sqrt{LC_2}$$

*Так как*

$$\lambda_1 = \frac{c}{\nu_1}$$

*то*

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\nu_1^2 \lambda_2^2}{c^2} = 4$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 210 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 12.

### Решение задач по теме «Оптика».

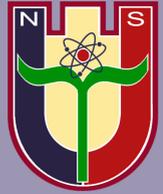
Дисперсия, интерференция и дифракция света. Дифракционная решетка. Законы геометрической оптики: прямолинейное распространение, отражение и преломление света. Полное отражение. Зеркала. Тонкие линзы. Построение изображений в линзах. Формула тонкой линзы. Оптические приборы.

Литература: [1, с. 131–135], [6, с. 370–410], [8, с. 367–403]

Световые явления изучаются в белорусских школах в курсе физики 8 и 11 классов.

В 8 классе изучаются элементы геометрической оптики: источники света; прямолинейность распространения света; скорость света; отражение света; построение изображения предмета в плоском зеркале; преломление света; линзы: фокусное расстояние и оптическая сила тонкой линзы; построение изображений в тонких линзах; глаз как оптическая система.

В 11 классе изучают элементы волновой оптики и новые элементы из геометрической оптики: интерференция света; принцип Гюйгенса – Френеля; дифракция света; Дифракционная решетка; закон отражения света; сферические зеркала; закон преломления света; показатель преломления; полное отражение; формула тонкой линзы; оптические при-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 211 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

боры.

Анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие группы физических задач, которые используются в процессе изучения темы «Оптика»:



Задачи на волновую оптику можно разделить на две группы: задачи на интерференцию и задачи на дифракцию света. Важной оптической характеристикой среды является *абсолютный показатель преломления* (или просто показатель преломления):

$$n = \frac{c}{v} \quad (12.1)$$

Так как частота света, при переходе из одной среды в другую не



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 212 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

меняется, то справедливо соотношение:

$$n_2\lambda_2 = n_1\lambda_1 \quad (12.2)$$

Оптическая разность хода (см. рисунок 76) :

$$\delta = |n_2d_2 - n_1d_1| \quad (12.3)$$

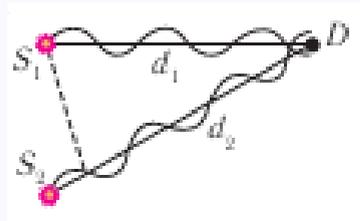


Рисунок 76

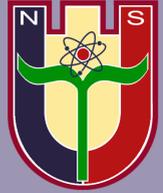
Поскольку при разности хода, равной длине волны разность фаз  $\Delta\varphi = 2\pi$ , то составив пропорцию можно получить:

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\lambda}{\delta} \quad (12.4)$$

Условие максимума интерференции:

$$\delta = 2k\frac{\lambda}{2} \quad (12.5)$$

$k=0,1,2,3,\dots$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 213 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Условие минимума интерференции:

$$\delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (12.6)$$

$k=0,1,2,3,\dots$

Пример решения задачи.

Волна красного света падает, через тонкую прозрачную пленку с показателем преломления 1,8. Толщина пленки 38 мкм. Определите, сколько раз длина волны света в пленке укладывается на ее толщине, если длина волны в вакууме 720 нм. Волна падает на пленку перпендикулярно ее плоскости.

Воспользовавшись формулой (12.2) можно записать:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1 n_1}{n_2}$$

На толщине пленки  $d$  укладывается число длин волн:

$$N = \frac{d}{\lambda_2} = \frac{dn_2}{\lambda_1 n_1} = 95$$

Пример решения задачи.

В некоторую точку пространства приходят когерентные волны с оптической разностью хода 2 мкм. Усиление или ослабление световых волн произойдет в этой точке, если длина волны 400 нм?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 214 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Попробуем для максимума (12.5), выразив порядок:

$$k = \frac{\delta}{\lambda} = 5$$

Целое число - усиление.

*Дифракцией* называется отклонение света от прямолинейного распространения близи препятствия (огибание светом преграды).

Совокупность большого числа параллельных узких прозрачных для света щелей, разделенных непрозрачными промежутками, называют *дифракционной решеткой* (см. рисунок 77).

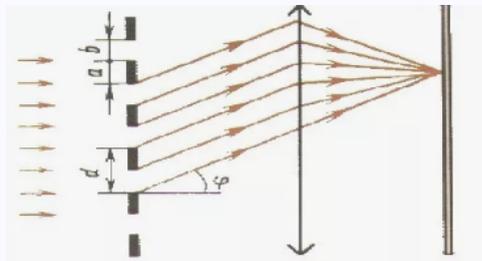


Рисунок 77

Сумму ширины щели  $a$  и промежутка  $b$  между щелями (см. рисунок 77) называют *периодом или постоянной решетки*:

$$d = a + b \quad (12.7)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 215 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Условие максимумов* – это формула для углов дифракции, под которыми наблюдаются дифракционные максимумы:

$$d \sin \varphi = m \lambda \quad (12.8)$$

$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  - порядок дифракционного максимума.

Справедливо соотношение:

$$d = \frac{L}{N} \quad (12.9)$$

$L$  - длина решетки,  $N$  - число штрихов.

*Пример решения задачи.*

*На дифракционную решетку перпендикулярно ее плоскости падает свет с длиной волны 500 нм. Сколько штрихов на 1 мм должна иметь решетка, чтобы пятый главный максимум в дифракционной картине находился под углом  $90^\circ$  по отношению к падающему свету?*

*Воспользовавшись формулами (12.8) и (12.9) можно записать:*

$$\frac{L}{N} \sin \varphi = m \lambda$$

*Так как  $\sin \varphi = 1$  получим:*

$$N = \frac{L}{m \lambda} = 400$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 216 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Задачи на геометрическую оптику можно разделить на три группы. Первая группа задач - это задачи на прямолинейное распространение света, отражение и преломление света. В *однородной среде* (оптически однородной средой является среда, во всех точках которой показатель преломления одинаков) свет распространяется прямолинейно с постоянной скоростью. Прямая, вдоль которой распространяется световая волна, называется *лучом*.

Прямолинейность световых лучей нарушается, если свет падает на границу раздела двух сред. При этом наблюдается раздвоение луча (см. рисунок 78):

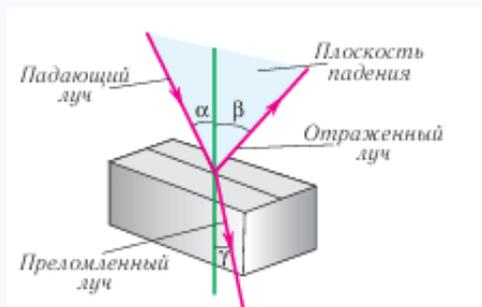


Рисунок 78

Данное физическое явление подчиняется следующим физическим законам:

1. Угол падения равен углу отражения:

$$\alpha = \beta \quad (12.10)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 217 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1} \quad (12.11)$$

3. Луч падающий, луч отраженный и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным в точке падения к границе раздела.

*Пример решения задачи.*

Вертикальный шест высотой 1 м, поставленный недалеко от уличного фонаря, отбрасывает тень длиной 80 см. Если расстояние между фонарным столбом и шестом увеличить на 1,5 м, то длина тени возрастает до 1,3 м. На какой высоте находится фонарь?

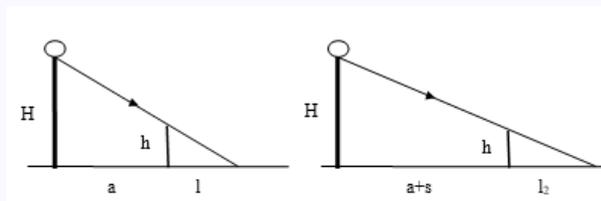
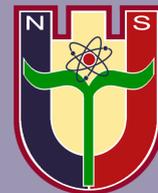


Рисунок 79

Если обозначить через  $a$  первоначальное расстояние от фонарного столба до шеста (см. рисунок 79), то из подобия треугольников получаем:



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 218 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть



$$\frac{H}{h} = \frac{a + l_1}{l_1}$$

$$\frac{H}{h} = \frac{a + s + l_2}{l_2}$$

Из этих двух уравнений получим:

$$H = h \frac{s + l_2 - l_1}{l_2 - l_1} = 4\text{М}$$

*Пример решения задачи.*

При повороте плоского зеркала угол между падающим и отраженным лучами увеличился на  $40^\circ$ . На какой угол (в градусах) было повернуто зеркало?

При повороте зеркала на угол  $\alpha$  угол между падающим лучом и нормалью к зеркалу (угол падения) тоже изменится на  $\alpha$ ; угол отражения (12.10) так же изменится на  $\alpha$ . Угол между падающим и отраженным лучом изменится на  $2\alpha$ . Так как падающий луч не меняет направления, то при повороте зеркала на  $\alpha$  отраженный луч повернулся на  $2\alpha$ . Зеркало повернулось на  $20^\circ$ .

*Пример решения задачи.*

Под каким углом (в градусах) падает луч света на стеклянную пластинку с показателем преломления  $n_2 = \sqrt{3}$ , если преломленный луч оказался перпендикулярным к отраженному?

Если преломленный луч перпендикулярен отраженному, то угол отражения и угол преломления связаны соотношением  $\beta + \gamma = 90^\circ$  (см. рисунок 78). Тогда из закона отражения света (12.10) и  $\alpha + \gamma = 90^\circ$ .

Воспользовавшись (12.11) и тем, что  $n_1 = 1$  можно записать:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_2$$

После подстановки  $\sin\gamma = \sin(90^\circ - \alpha) = \cos\alpha$  получаем уравнение:

$$\operatorname{tg}\alpha = n_2$$

Откуда  $\alpha = 60^\circ$

Следующая группа задач - это задачи на плоские и выпуклые зеркала.

В оптике изображение называется *действительным*, если оно образовано самими лучами. Если изображение образовано не самими лучами, а их продолжениями, то такое изображение называют *мнимым*.

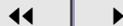
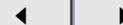
Используя закон отражения света (12.10) можно построить изображение предмета в плоском зеркале (см. рисунок 80):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 220 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

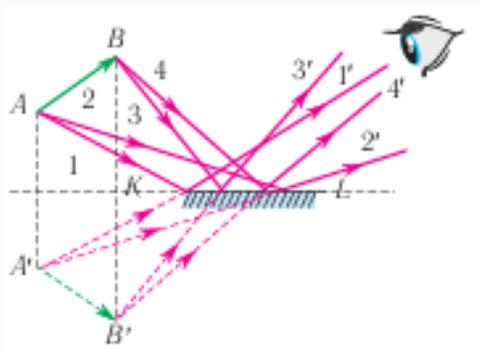


Рисунок 80

Изображение в плоском зеркале мнимое и прямое.

*Ход лучей в сферическом зеркале:*

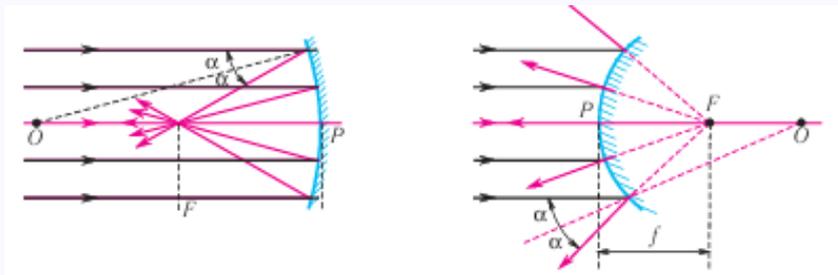


Рисунок 81

*Главный фокус зеркала:*

$$F = \frac{R}{2} \quad (12.12)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 221 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть



Для построения изображения в сферическом зеркале обычно выбирают четыре *стандартных луча*: луч - через центр зеркала; луч - параллельный главной оптической оси; луч - через главный фокус; луч - падающий на зеркало в его полюсе.

*Построение изображения предмета в сферических зеркалах:*

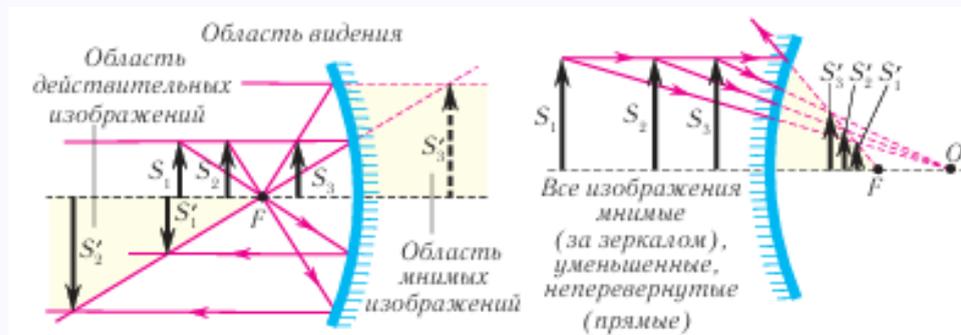


Рисунок 82

*Пример решения задачи.*

*Между двумя плоскими зеркалами, расположенными под углом друг к другу, помещен точечный источник света. Расстояние от источника до одного зеркала  $a = 4,5$  см, до другого  $b = 6$  см. Расстояние между первыми изображениями 15 см. Найдите угол между зеркалами.*

*Из условия задачи расстояние от источника до первого изображения будет равно  $2a = 9$  см, до второго изображения равно  $2b = 12$  см.*

Начало

Содержание



Страница 222 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

Сделаем пояснительный рисунок к задаче (см. рисунок 83):

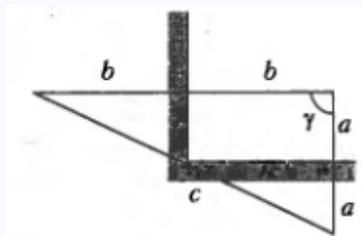


Рисунок 83

Из рисунка видно, что источник и два изображения являются вершинами прямоугольного треугольника со сторонами 6, 9 и 15 см. Следовательно угол  $\gamma$  и угол между зеркалами равны  $90^\circ$ .

Последняя группа задач - это задачи на тонкие линзы.

Формула тонкой линзы:

$$\pm \frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} \quad (12.13)$$

Оптическая сила линзы:

$$D = \pm \frac{1}{F} \quad (12.14)$$

Увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{f}{d} \quad (12.15)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 223 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Построение изображений в линзах:



Рисунок 84

*Пример решения задачи.*

*Два точечных источника света находятся на расстоянии 24 см друг от друга. Между ними на расстоянии 6 см от одного из них помещена собирающая линза. При этом изображения обоих источников*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 224 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

получились в одной и той же точке. Найдите фокусное расстояние (в см) линзы.

Описанная ситуация возможна если изображение одного источника действительное, а второго – мнимое. Воспользовавшись (12.13) запишем уравнения:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f}$$

Сложив данные уравнения можно легко выразить фокусное расстояние:

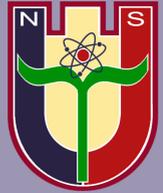
$$F = \frac{2d_1d_2}{d_1 + d_2} = 9\text{см}$$

*Пример решения задачи.*

Рассеивающая линза с фокусным расстоянием 4 см дает в 4 раза уменьшенное изображение предмета. Найдите расстояние от предмета до изображения в (см).

Из формулы линзы (12.13) и формулы увеличения линзы (12.15) выразим  $f$  и  $d$ :

$$d = \frac{F(1 - \Gamma)}{\Gamma}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 225 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$f = F(1 - \Gamma)$$

*Предмет и изображение находятся по одну сторону линзы, поэтому расстояние между ними равно:*

$$d - f = \frac{F(1 - \Gamma)^2}{\Gamma} = 9\text{см}$$

*Пример решения задачи.*

*Предмет находится на расстоянии 20 см от собирающей линзы с оптической силой 4 дптр. Найдите расстояние между предметом и изображением. Из формулы линзы (12.13) и формулы (12.14) получим:*

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

*Откуда:*

$$f = \frac{d}{1 - dD} = 100\text{см}$$
$$f - d = 20\text{см}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 226 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 13.

### Решение задач по темам «Элементы специальной теории относительности», «Фотоны. Действие света»

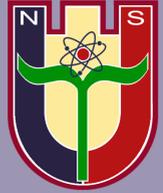
Принцип относительности Галилея и электромагнитные явления. Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Пространство и время в специальной теории относительности. Закон взаимосвязи массы и энергии. Квантовая гипотеза Планка. Фотон. Фотоэлектрический эффект. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Давление света.

Литература: [1, с. 136], [6, с. 421–430], [8, с. 404–416]

Темы «Элементы специальной теории относительности» и «Фотоны. Действие света» изучаются в белорусских школах в курсе физики 11 класса.

Большинство вопросов тем излагают в ознакомительном плане. Исключением являются закон взаимосвязи массы и энергии, следствия из преобразований Лоренца (на повышенном уровне), энергия фотона, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Задачи на зависимость массы тела от скорости и импульс фотона программой по физике не предусмотрены.

Таким образом, анализ содержания школьного курса физики позволяет выделить следующие группы физических задач, которые используются в процессе изучения тем «Элементы специальной теории отно-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



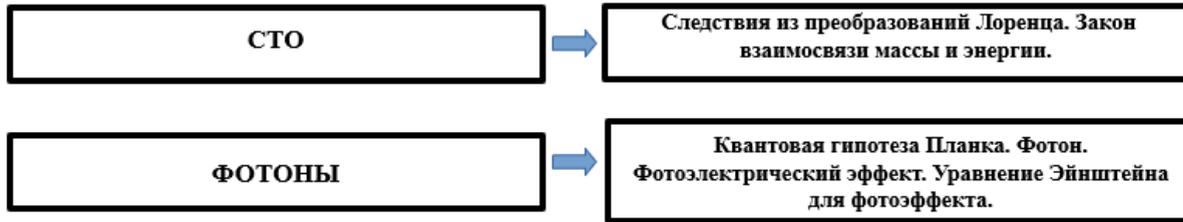
Страница 227 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

сительности» и «Фотоны. Действие света»:



Первая группа задач - это задачи на следствия из преобразований Лоренца и закон взаимосвязи массы и энергии.

*Замедление времени:*

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \beta}} \quad (13.1)$$

где  $\beta = \frac{v^2}{c^2}$

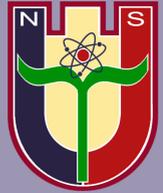
*Сокращение длины:*

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta} \quad (13.2)$$

*Закон взаимосвязи массы и энергии:*

$$E = mc^2 \quad (13.3)$$

*Пример решения задачи.*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 228 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Какую скорость должно приобрести тело, чтобы его продольные размеры уменьшились для наблюдателя в три раза? До этого тело покоилось относительно данного наблюдателя.

Из формулы (13.2) можно записать:

$$\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \beta}$$

Возведя левую и правую часть уравнения в квадрат, получим:

$$\frac{l^2}{l_0^2} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

Откуда:

$$v = c \sqrt{1 - \frac{l^2}{l_0^2}} = 0,94c$$

Пример решения задачи.

Солнце ежесекундно излучает в пространство  $3,75 \cdot 10^{26}$  Дж энергии. Насколько ежесекундно уменьшается масса Солнца вследствие излучения? На сколько лет «хватит» Солнца при таком расходе массы, если его масса  $1,99 \cdot 10^{30}$  кг?

Из формулы (13.3) можно записать:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 229 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Очевидно, что:

$$t = \frac{M}{\Delta m} = \frac{Mc^2}{\Delta E} = 1,51 \cdot 10^{13} \text{ лет}$$

Вторая группа задач это задачи на определение энергии фотона и фотоэффект.

*Энергия фотона:*

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (13.4)$$

*Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:*

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (13.5)$$

*Красная граница фотоэффекта:*

$$h\nu_{\text{кр}} = A \quad (13.6)$$

*Пример решения задачи.*

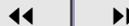
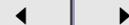
*Сколько фотонов попадает за 1 с в глаз человека, если глаз воспринимает свет с длиной волны 0,55 мкм при мощности светового потока  $1,8 \cdot 10^{-16} \text{ Вт}$ ?*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 230 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Из формулы (13.4) энергия одного фотона равна:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

Энергия излучения:

$$W = Pt$$

Тогда число фотонов:

$$N = \frac{W}{E} = \frac{Pt\lambda}{hc} = 500$$

Пример решения задачи.

На фотокатод падает поток излучения с длиной волны 80 нм. Поток прекращается, если подать задерживающую разность потенциалов 8 В. Найдите работу выхода электронов из металла.

Очевидно, что фототок прекратится в случае:

$$eU_3 = \frac{mv^2}{2}$$

Воспользовавшись формулами (13.4) и (13.5), получим:

$$A = eU_3 - h \frac{c}{\lambda} = 7,5 \text{ эВ}$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 231 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

## Лекция 14.

### Решение задач по теме «Физика атома»

Ядерная модель атома. Квантовые постулаты Бора. Излучение и поглощение энергии атомом. Квантово-механическая модель атома водорода.

Литература: [1, с. 136], [6, с. 414], [8, с. 417–430]

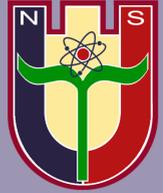
Тема физика атома изучается в курсе физики 11 класса. Задачи, рассматриваемой темы можно условно разделить на две группы: задачи на постулаты Бора и задачи на закономерности в спектре атома водорода. Большинство задач носят качественный характер.

*Первый постулат Бора:* в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых он не излучает энергии. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн. При этом выполняется условие:

$$mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad (14.1)$$

*Второй постулат Бора:* при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией

$$h\nu = E_n - E_m \quad (14.2)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 232 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

равной разности энергий соответствующих стационарных состояний ( $E_n$  и  $E_m$  – соответственно энергии стационарных состояний атома до и после излучения (поглощения)).

При  $E_m < E_n$  происходит излучение фотона – переход атома из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией, переход электрона с более удаленной от ядра орбиты на более близлежащую. При  $E_m > E_n$  – его поглощение – переход атома в состояние с большей энергией, т. е. переход электрона на более удаленную от ядра орбиту (см. рисунок 85).

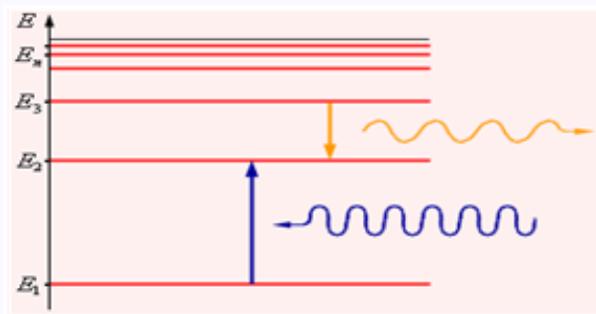


Рисунок 85

Минимальная энергия атома водорода в основном энергетическом состоянии ( $n = 1$ )  $E_1 = -13,6$  эВ и увеличивается с ростом  $n$ . Соответственно максимальная энергия равна 0, в случае когда электрон покидает атом (ионизация).



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 233 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

В общем случае:

$$E_n = -\frac{E_1}{n^2} \quad (14.3)$$

*Пример решения задачи.*

*Во сколько раз увеличится линейная скорость электрона в модели атома Резерфорда, при переходе электрона на другую орбиту с радиусом в 16 раз меньше?*

*Из второго закона Ньютона (3.2), следует:*

$$F_1 = ma_1$$

$$F_2 = ma_2$$

С учетом того, что сила действующая на электрон - это сила Кулона (8.3), а ускорение является центростремительным (2.21), получим следующие уравнения:

$$k\frac{e^2}{r_1^2} = m\frac{v_1^2}{r_1}$$

$$k\frac{e^2}{r_2^2} = m\frac{v_2^2}{r_2}$$

*Разделив одно уравнение на другое, получим:*

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{r_1}{r_2} = 16$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 234 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Таким образом:

$$\frac{v_2}{v_1} = 4$$

Пример решения задачи.

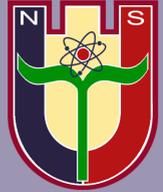
При переходе атома водорода из состояния с  $n = 6$  в состояние с  $n = 2$  излучается видимый свет. Во сколько раз длина волны этого света больше, чем длина волны ультрафиолетового излучения, при поглощении которого атом водорода переходит из основного состояния в состояние с  $n = 3$ ?

Воспользовавшись формулами (13.4), (14.2) и (14.3), получим два уравнения:

$$\frac{E_1}{6^2} - \frac{E_1}{2^2} = \frac{hc}{\lambda_1}$$
$$\frac{E_1}{3^2} - \frac{E_1}{1^2} = \frac{hc}{\lambda_2}$$

Разделив эти уравнения одно на другое, получим:

$$\lambda_1 = 4\lambda_2$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 235 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Лекция 15.

### Решение задач по теме «Физика ядра»

Протонно-нейтронная модель ядра. Энергия связи. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции. Энергетический выход ядерных реакций.

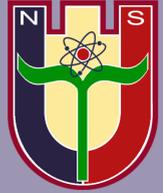
Литература: [1, с. 137-138], [6, с. 431-436], [8, с. 417-430]

Тема «Физика ядра» изучается в 11 классах учреждений общего среднего образования. Основная задача разъяснить обучающимся принципы использования ядерной энергии. Этим и определяется характер решаемых задач по физике. По этой теме решают задачи на состав атомного ядра, дефект масс и энергию связи, радиоактивный распад и ядерные реакции.

В физике ядра, ядра атомов химических элементов обозначают следующим образом:  ${}^A_Z X$ , где  $Z$  - зарядовое число, равное числу протонов в ядре, и соответствующее порядковому номеру химического элемента в таблице Менделеева;  $A$  - массовое число, равное сумме числа нейтронов и протонов в ядре.

Очевидно, что

$$A = N + Z \quad (15.1)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 236 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

Пример решения задачи.

Найдите отношение заряда ядра  ${}_{12}^{26}\text{Mg}$  к заряду  $\alpha$  - частицы.

Как известно  $\alpha$  - частица - это ядро атома гелия  ${}_{2}^4\text{He}$ . То есть  $Z_{\alpha} = 2$ .

Тогда:

$$\frac{Z_{Mg}}{Z_{\alpha}} = \frac{12}{2} = 6$$

Экспериментально было обнаружено, что для всех стабильных ядер масса ядра меньше суммы масс составляющих его нуклонов, взятых по отдельности. Эта разница называется *дефектом массы*:

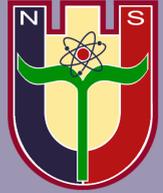
$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}} \quad (15.2)$$

Дефект массы показывает, что для полного расщепления ядра на составляющие его нуклоны необходимо затратить соответствующую энергию - *энергию связи*:

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}})c^2 \quad (15.3)$$

Если массы всех частиц выразить в атомных единицах массы, а энергию в мегаэлектронвольтах, то

$$E_{\text{св}} = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}})931,5\text{МэВ} \quad (15.4)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 237 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

*Пример решения задачи.*

*Определите энергию связи (в МэВ) нуклонов в ядре бериллия  ${}^8_4\text{Be}$ . Масса ядра бериллия равна 8,00531 а.е.м. Масса протона – 1,007276 а.е.м, нейтрона – 1,008665 а.е.м.*

*Воспользовавшись формулой (15.4), получим:*

$$E_{\text{св}} = (4 \cdot 1,007276 + 4 \cdot 1,008665 - 8,00531) \cdot 931,5 = 54,46 \text{ МэВ}$$

*Альфа-распадом* называют самопроизвольный распад атомного ядра на дочернее ядро и  $\alpha$ -частицу (ядро атома  ${}^4_2\text{He}$ ):



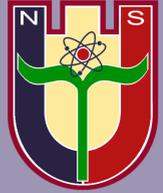
*Бета-распад* – самопроизвольный распад атомного ядра сопровождающийся испусканием  $\beta$ -частицы (быстрого электрона  ${}^0_{-1}e$ ):



*Гамма-излучение* или поток  $\gamma$ -квантов ( ${}^0_0\gamma$ ) – это электромагнитное излучение очень высокой частоты. Испускание гамма-излучения не приводит к превращению элемента.

Число нераспавшихся ядер с течением времени убывает согласно *закону радиоактивного распада*:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \quad (15.7)$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 238 из 320

Назад

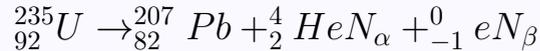
На весь экран

Закрыть

*Пример решения задачи.*

*В цепочке радиоактивных превращений  ${}_{92}^{235}\text{U}$  в  ${}_{82}^{207}\text{Pb}$  содержится несколько альфа- и бета-распадов. Сколько всего распадов в этой цепочке?*

*Данную цепочку радиоактивных превращений можно записать в виде:*



*Так как выполняются законы сохранения энергии и заряда, можно записать систему уравнений:*

$$235 = 207 + 4N_\alpha$$

$$92 = 82 + 2N_\alpha - N_\beta$$

*Решив данную систему уравнений, получим  $N_\alpha = 7$ ,  $N_\beta = 4$ .*

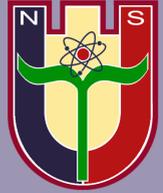
*Окончательно:*

$$N_\alpha + N_\beta = 11$$

*Пример решения задачи.*

*За время 100 с распадается половина ядер радиоактивного вещества. Через какое время распадается  $3/4$  ядер данного вещества?*

*Подставляя в формулу (15.7) из условия задачи  $N = \frac{1}{4}N_0$  и  $T = 100\text{с}$  получим выражение:*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 239 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

$$2^{-2} = 2^{-\frac{t}{100}}$$

Следовательно  $t = 200\text{с}$ .

Символическая запись ядерной реакции:



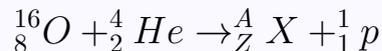
Энергетический выход ядерной реакции:

$$Q = ((m_A + m_a) - (m_B + m_b))c^2 \quad (15.9)$$

Пример решения задачи.

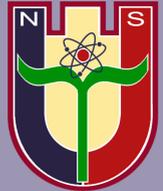
В ядро атома кислорода  ${}^{16}_8\text{O}$  попадает  $\alpha$ -частица. При этом испускается один протон и образуется ядро некоего элемента. Каков порядковый номер этого элемента в таблице Менделеева?

Воспользовавшись (15.8) запишем уравнение указанной реакции:



Из закона сохранения заряда (8.2) легко получить:

$$Z = 8 + 2 - 1 = 9$$



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание

◀ ▶

◀◀ ▶▶

Страница 240 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

# Практическое занятие № 1.

## Путь и перемещение. Классический закон сложения скоростей. Средняя скорость.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на определение пути и перемещения материальной точки, относительность движения и определение средней скорости.

### Задачи для решения в аудитории

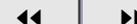
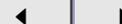
1. После удара о стенку мяч отскочил от него по той же прямой на расстояние 5 м. Найдите путь и перемещение мяча, если до удара он находился на расстоянии 10 м от стенки?
2. Вертолет пролетел 10 км на север, 15 км на северо-запад и 8 км на запад. Найдите путь и перемещение вертолета.
3. Половину пути пешеход двигался со скоростью 5 км/ч, а оставшийся путь со скоростью 4 км/ч. Определить среднюю скорость пешехода.
4. Половину времени пешеход двигался со скоростью 5 км/ч, а оставшийся путь со скоростью 4 км/ч. Определить среднюю скорость пешехода.
5. Третью часть всего пути автомобиль двигался со скоростью 54 км/ч, затем расстояние, равное половине всего пути, со скоростью 20



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 241 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

м/с, а оставшийся отрезок пути со скоростью 10 м/с. Найдите среднюю скорость движения автомобиля.

6. Моторная лодка проплыла первую половину пути со средней скоростью в три раза большей, чем вторую. Средняя скорость на всем пути составляет 6 км/ч. Какова средняя скорость (в км/ч) моторной лодки на второй половине пути?

7. Скорость скутера по течению реки равна 18 км/ч, против течения равна 4 м/с. Найдите скорость течения реки.

8. Дизель и электричка идут навстречу друг другу по двум параллельным путям со скоростью 36 и 54 км/ч. Длины поездов 125 и 150 м. Найдите время, в течение которого поезда проходят мимо друг друга.

9. Пловец переплывает реку шириной 40 м, выдерживая направление, строго перпендикулярное к течению. Несмотря на это, его сносит на 100 м ниже по течению. С какой скоростью он плыл относительно берега? Скорость течения 4,0 м/с.

10. Дождевые капли, падающие отвесно, попадают на боковое стекло автобуса, движущегося со скоростью 45 км/ч, и оставляют на нем след под углом  $45^\circ$  к вертикали. Определите скорость падения капель.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.1, упр.2, упр.3, упр.6], [9, Самост.раб. стр. 148 – 154].

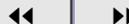
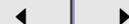
*Задачи для дополнительного решения:* [7, §1],



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 242 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Практическое занятие № 2.

### Равномерное и равнопеременное прямолинейное движение.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на применение кинематических законов движения, анализировать графики зависимости кинематических характеристик равномерного и равнопеременного прямолинейного движения от времени, определять скорость, ускорение, перемещение, путь и координаты материальной точки при движении с постоянным ускорением.

#### Задачи для решения в аудитории

1. Кинематический закон движения материальной точки вдоль оси  $OX$  имеет вид  $x = A + Bt$ , где  $A = -4\text{ м}$ ,  $B = 6 \text{ м/с}$ . Определите координату точки, через промежуток времени 8 с после начала отсчета времени.

2. Автомобиль, движущийся равномерно и прямолинейно за промежуток времени 1 мин проехал путь 840 м. Найдите путь, который проедет этот автомобиль, за промежуток времени 25 с.

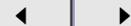
3. Движения двух материальных точек заданы кинематическими уравнениями движения:  $x_1 = 5t$  и  $x_2 = 150 - 10t$ . Чему равны их начальные координаты и скорости? Постройте графики зависимости  $x(t)$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 243 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

4. По заданным графикам (см. рисунок 86) найдите начальные координаты тел и проекции скорости их движения. Напишите уравнения их движения  $x(t)$ . Из графиков и уравнений найдите место встречи тел II и III.

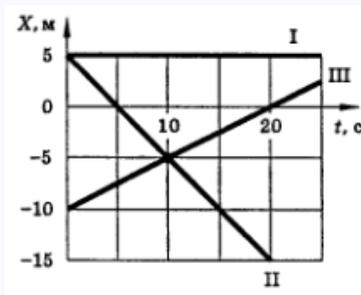


Рисунок 86

5. Материальная точка, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, прошла путь 100 м за промежуток времени 10 с. За какое время оно пройдет первые 2 км пути.

6. Лыжник спускается с горы длиной 180 м. Сколько времени займет спуск, если ускорение лыжника равно  $0,5 \text{ м/с}^2$ , а начальная скорость 4 м/с?

7. Мотоциклист подъезжает к перекрестку со скоростью 72 км/ч и тормозит с ускорением  $4 \text{ м/с}^2$ . Найдите тормозной путь мотоцикла до остановки.

8. Грузовик, трогаясь с места, движется равноускоренно с ускорением



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 244 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

1 м/с<sup>2</sup>. Какой путь он пройдет за 5-ю секунду?

9. По заданным графикам (см. рисунок 87) найдите начальные скорости и ускорения тел. Напишите их зависимости скорости от времени. По графикам найдите пути, пройденные телами за время наблюдения.

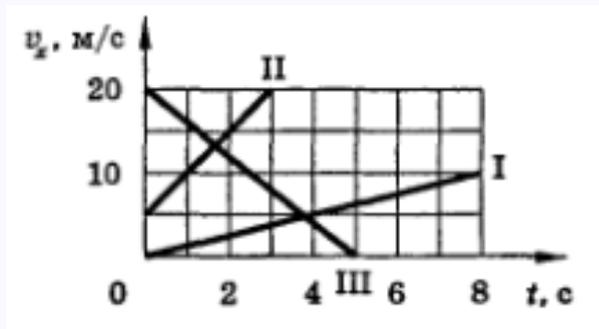


Рисунок 87

10. Во сколько раз скорость пули, прошедшей 1/4 часть ствола винтовки, меньше, чем при вылете из ствола? Ускорение пули считайте постоянным.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.4, упр.5, упр.7, упр.8], [9, Самост.раб. стр. 148 – 154, стр. 155 – 160, Контр.раб. стр. 180 – 187].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §2],



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 245 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 3.

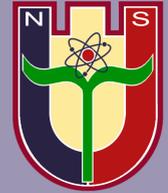
### Движение по окружности с постоянной по величине скоростью.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные и расчетные задачи на определение угловой и линейной скорости, центростремительного ускорения, периода и частоты при движении материальной точки по окружности с постоянной по модулю скоростью.

#### Задачи для решения в аудитории

1. На каком расстоянии от оси вращения находится материальная точка, если ее скорость равна  $31,4$  м/с и за  $2$  с она делает  $5$  полных оборотов?
2. Линейная скорость точек, расположенных на ободе колеса, равна  $5$  м/с, а точек, находящихся ближе к оси на  $0,2$  м, равна  $4$  м/с. Найдите угловую скорость колеса и частота его вращения.
3. Путь, пройденный материальной точкой при равномерном движении по окружности радиусом  $1$  м,  $s = 3,14t$ . Найдите угловую скорость и период вращения.
4. Минутная стрелка часов на  $20\%$  длиннее секундной. Во сколько раз линейная скорость конца секундной стрелки больше, чем конца ми-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 246 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

нутной стрелки?

5. При увеличении в 4 раза радиуса круговой орбиты искусственного спутника Земли период его обращения увеличивается в 8 раз. Во сколько раз изменяется линейная скорость спутника?

6. При движении точки по окружности пройденный путь  $s = 2t$  м, а угол поворота  $\varphi = 4t$  рад. С каким центростремительным ускорением движется точка?

7. Нейтронная звезда, вращаясь, делает 2 оборота в секунду. Найдите центростремительное ускорение точек ее экватора, если ее радиус равен 30 км.

8. Найдите центростремительное ускорение точек колеса автомобиля, соприкасающихся с дорогой, если автомобиль движется без проскальзывания, со скоростью 72 км/ч. Частота вращения колеса  $8 \text{ с}^{-1}$ .

9. Длина минутной стрелки часов 20 см. Найдите среднюю скорость пути конца стрелки через 10 мин.

10. Период обращения материальной точки, движущейся равномерно по окружности, равен 6 с. Найдите отношение пути, пройденного точкой за время 4 с от начала движения, к модулю ее перемещения.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.9, упр.10 ], [ Контр.раб. стр. 188 – 192].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §3],



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 247 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Практическое занятие № 4.

### Сила. Сложение сил. Законы Ньютона

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на применение законов Ньютона, нахождение равнодействующей сил действующих на тело.

#### Задачи для решения в аудитории

1. К телу приложены две силы, равные 10 и 15 Н. Найдите угол при котором модуль равнодействующей этих сил будет наибольшим.
2. Найти равнодействующую сил  $F_1 = 12\text{Н}$ ,  $F_2 = 10\text{Н}$ ,  $F_3 = 10\text{Н}$  (см. рисунок 88):

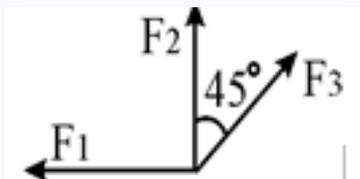


Рисунок 88

3. На парашютиста массой 60 кг в начале прыжка действует сила сопротивления воздуха, вертикальная составляющая которой 300 Н, а горизонтальная 200 Н. Найдите равнодействующую всех сил.
4. Найти равнодействующую сил (см. рисунок 89):



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 248 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

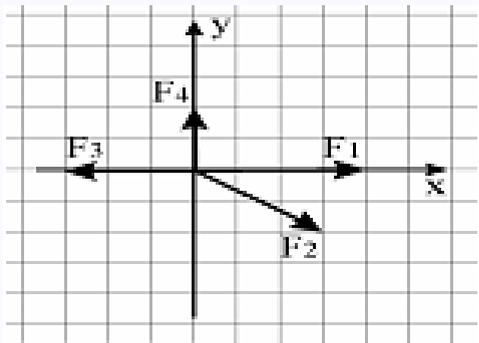


Рисунок 89

5. К телу под прямым углом друг к другу приложены две силы 6 Н и 8 Н. Под действием этих сил тело движется с ускорением  $1 \text{ м/с}^2$ . Найдите массу тела.

6. Покоящаяся хоккейная шайба массой 300 г после удара клюшкой, длящегося 0,02 с, скользит по льду со скоростью 40 м/с. Определите среднюю силу удара.

7. Во время опыта, под действием некоторой силы тележка, двигаясь из состояния покоя, прошла путь 60 см. Когда на тележку положили груз массой 0,3 кг, под действием той же силы, за тоже время, тележка прошла путь 30 см. Найдите массу тележки.

8. Масса легкового автомобиля 1,5 т, а грузового 9 т. Сравните ускорения автомобилей, если сила тяги грузовика в 3 раза больше.

9. Зависимость проекции силы, действующей на тело массой 5 кг от



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 249 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

времени, представлена на рисунке (см. рисунок 90). Начальная скорость тела равна 0. Постройте график зависимости проекции скорости от времени.

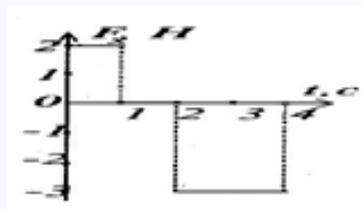


Рисунок 90

10. Найдите проекцию силы, действующей на тело массой 5 кг, на каждом этапе движения (см. рисунок 91).

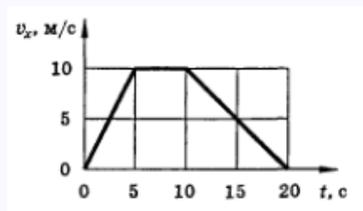


Рисунок 91

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.11, упр.12, упр.13, упр.14], [9, Самост.раб. стр. 168 – 173, Контр.раб. стр. 193 – 199].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §4],*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 250 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 5. Сила упругости. Силы трения.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на движение тел под действием сил упругости и трения.

### Задачи для решения в аудитории

1. На сколько удлинится леска, жесткостью  $500 \text{ Н/м}$ , при равномерном поднятии вверх рыбы массой  $1500 \text{ г}$ .
2. Один конец пружины с коэффициентом жесткости  $100 \text{ Н/м}$  привязан к потолку лифта, а к другому концу привязана гирька массой  $200 \text{ г}$ . Найти модуль ускорения лифта, если растяжение пружинки равно  $1,5 \text{ см}$ .
3. Под действием силы давления тепловоза  $60 \text{ кН}$  буферные пружины вагона сжимаются на  $1 \text{ см}$ . С какой силой давит тепловоз, если пружины сжались на  $3 \text{ см}$ ?
4. На гладком диске, который вращается вокруг вертикальной оси с частотой  $480 \text{ об/мин}$ , лежит шар массой  $0,2 \text{ кг}$ , прикрепленный к оси диска пружиной жесткостью  $1200 \text{ Н/м}$ . Найдите длину пружины во время вращения, если в состоянии покоя ее длина равна  $30 \text{ см}$ .
5. Тело движется вдоль оси  $OX$  под действием силы трения. Скорость



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 251 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

тела задана уравнением  $v_x = 4 - 2t$ . Найдите коэффициент трения.

6. Было установлено, что след торможения автомобиля на дороге равен 40 м. С какой скоростью ехал автомобиль, если коэффициент трения колес об асфальт 0,5?

7. Какая горизонтальная сила приложена к телу массой 5 кг, если под действием этой силы оно равномерно движется по столу при коэффициенте трения 0,5?

8. Поезд массой 1500 т движется по горизонтальному пути. Сила тяги тепловоза 500 кН. Коэффициент трения скольжения 0,005. Найдите ускорение поезда.

9. Тело массой 0,5 кг, брошенное вертикально вверх со скоростью 50 м/с, достигло высшей точки подъема через 2 с. Найдите значение силы сопротивления воздуха, считая ее постоянной.

10. С горки длиной 15 м, составляющей с горизонтом угол  $30^\circ$ , скатывается мальчик на санках. Чему равна сила трения при скатывании санок, если спуск с горы продолжается 4 с? Масса мальчика вместе с санками 40 кг.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.15, упр.16 ], [9, Самост.раб. стр. 168 – 173, Контр.раб. стр. 193 – 199]

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §4],



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 252 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 6.

### Закон всемирного тяготения. Сила тяжести. Вес тела.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные и расчетные задачи с применением формулы, выражающей закон всемирного тяготения, на движение тел под действием силы тяжести, определение веса тела.

#### Задачи для решения в аудитории

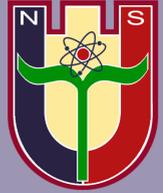
1. Как изменится модуль силы тяготения между двумя шарами, если массу одного из них и расстояние между их центрами увеличить в четыре раза?

2. У поверхности Земли на тело действует сила тяготения 36 Н. Чему равна сила тяготения, действующая на тело на расстоянии 2 радиуса Земли от ее поверхности?

3. В какой точке отрезка, соединяющего центры Земли и Луны, космический корабль будет притягиваться ими с одинаковой силой? Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли. Расстояние между центрами Земли и Луны равно 60 земным радиусам.

4. Масса Марса в 9 раз, а диаметр в 2 раза меньше, чем у Земли. Найдите ускорение свободного падения на Марсе.

5. С высоты 3 м, вертикально вниз, брошен мяч со скоростью 1 м/с.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 253 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

Чему будет равна его скорость в момент падения? Силой сопротивления пренебречь.

6. Тело брошено вверх с начальной скоростью 20 м/с. Найдите максимальную высоту, достигнутую телом. Силой сопротивления пренебречь.

7. Самолет летит горизонтально со скоростью 900 км/ч на высоте 8 км. За сколько километров до цели летчик должен сбросить бомбу?

8. С башни бросили шарик в горизонтальном направлении со скоростью 10 м/с. Определите модуль скорости и угол, который скорость шарика образует с вертикалью через промежуток времени 3 с.

9. Лифт движется с ускорением  $1 \text{ м/с}^2$ , направленным вертикально вверх. Чему равен вес человека массой 50 кг, находящегося в лифте?

10. С какой скоростью автомобиль должен проходить середину выпуклого моста, чтобы водитель испытал состояние невесомости? Радиус моста равен 40 м.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.17, упр.18, упр.19.], [9, Самост.раб. стр. 168 – 173, Контр.раб. стр. 193 – 199].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §5]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 254 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 7.

### Сила натяжения нити. Движение связанных тел.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные и расчетные задачи на применение законов Ньютона в случае действия силы натяжения, на движение системы тел.

#### Задачи для решения в аудитории

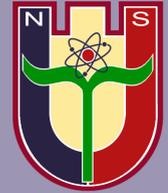
1. С каким ускорением опускают груз на веревке, если ее натяжение уменьшилось втрое по сравнению с натяжением, создаваемым неподвижным грузом?

2. Груз массой 1 кг подвешен к потолку лифта с помощью двух нитей, каждая из которых образует с вертикалью угол  $60^\circ$ . Какой будет сила натяжения нитей, если лифт будет подниматься с ускорением  $1 \text{ м/с}^2$ ?

3. Груз массой 500 г равномерно вращают в вертикальной плоскости с частотой  $0,5 \text{ с}^{-1}$  на нити длиной 1 м. Найти силу натяжения нити при прохождении грузом верхней и нижней точки траектории.

4. Нить с грузом подвешена на тележке, которая движется с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . Найдите силу натяжения нити после того как она займет устойчивое наклонное положение. Масса груза 2 кг.

5. Какую силу надо приложить к тросу для подъема по эстакаде, привязанного к нему груза 50 кг? Угол наклона эстакады  $30^\circ$ . Коэффициент



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 255 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

трения 0,05.

6. Подвешенный на нити груз массой 300 г вращается в горизонтальной плоскости, по окружности, с постоянной по модулю скоростью. Определите силу натяжения нити, если радиус окружности по которой движется шарик, равен половине длины нити.

7. Автомобиль массой 1,5 т с прицепом массой 2 т развивает силу тяги 7 кН. Пренебрегая силой трения определите силу, приложенную к прицепу.

8. Два груза, соединенные нитью, движутся по гладкой горизонтальной плоскости. Когда сила 100 Н была приложена к одному из грузов, сила натяжения нити была равна 30 Н. Какой будет сила натяжения, если силу 100 Н приложить к другому грузу?

9. На концах нити, перекинутой через блок с неподвижной осью, прикреплены грузы массами 400 г и 200 г. Найти ускорение грузов.

10. На горизонтальном столе лежит тело массой 500 г, которое приводится в движение грузом массой 300 г, подвешенным на одном конце нити, перекинутой через блок. Коэффициент трения между телом и столом равен 0,2. С каким ускорением будет двигаться тело?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[9, Самост.раб. стр. 168 – 173, Контр.раб. стр. 193 – 199]

*Задачи для дополнительного решения:* [2, §4,5]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 256 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

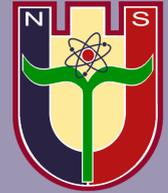
## Практическое занятие № 8. Основы статики.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные и расчетные задачи с использованием формул: момента силы, условий равновесия, коэффициента полезного действия (КПД) простых механизмов.

### Задачи для решения в аудитории

1. Тело массой 5 кг находится на горизонтальной поверхности. Коэффициент трения равен 0,1. К телу под углом  $60^\circ$  к горизонту приложили силу. При каких значениях силы тело будет оставаться в покое?
2. К вертикальной гладкой стене подвешен шар массой  $m$ . Нить составляет со стеной угол  $\alpha$ . Найдите силу давления шара на стену.
3. На двух гладких наклонных плоскостях, образующих с горизонтом углы  $30^\circ$  и  $60^\circ$ , лежит шар массой 2 кг. Определите силы, с которыми шар давит на каждую из плоскостей.
4. Гаечным ключом с рукояткой длиной 20 см, откручивают гайку. К концу рукоятки приложена сила 40 Н. Определите моменты силы для случаев, когда сила направлена под углами  $90^\circ$  и  $60^\circ$  к рукоятке.
5. Брус массой 5 кг лежит на упоре на расстоянии  $1/3$  от его длины. Какую вертикальную силу нужно приложить к длинному концу бруса,



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 257 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

чтобы удерживать его в горизонтальном положении.

6. Бревно длиной 10 м и массой 100 кг висит горизонтально на двух параллельных тросах. Найдите силы натяжения тросов, если один из них укреплен на конце бревна, а второй - на расстоянии 1 м от другого конца.

7. К концам стержня массой 1 кг подвешены грузы 2 кг и 3 кг. В какой точке стержня надо его подвесить, чтобы он находился в равновесии?

8. Лестница опирается о пол и стену. Определите наибольший угол между лестницей и стеной, при котором она еще будет находиться в равновесии. Коэффициент трения между полом и лестницей 0,4, между лестницей и стеной 0,2.

9. С какой минимальной силой необходимо тянуть колесо радиуса  $R$  за ось вращения, чтобы поднять его на ступеньку высотой  $h < R/2$ ?

10. Два шара одинакового объема, цинковый и медный скреплены в точке касания. Найдите положение центра тяжести системы. Плотность цинка  $7100 \text{ кг/м}^3$ , плотность меди  $8900 \text{ кг/м}^3$ .

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.20, упр.21, упр.22 ]

*Задачи для дополнительного решения: [7, §9]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 258 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 9. Давление. Закон Архимеда.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные и расчетные задачи с использованием формул гидростатического давления и силы Архимеда.

### Задачи для решения в аудитории

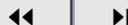
1. На какой глубине давление в воде больше атмосферного в десять раз?
2. Найти высоту столба ртути в опыте Торричелли при проведении его в горах, где атмосферное давление равно 70 кПа. Плотность ртути равна  $13600 \text{ кг/м}^3$ .
3. Какая по модулю сила выталкивает воду из иглы медицинского шприца, если на поршень шприца действует сила 6 Н? Площадь поршня равна  $0,3 \text{ см}^2$ , а площадь отверстия иглы -  $0,2 \text{ мм}^2$ .
4. В два сообщающихся сосуда с поперечным сечением по  $30 \text{ см}^2$  налита ртуть. Плотность ртути  $13600 \text{ кг/л}$ . Сколько надо добавить воды, чтобы уровень ртути в одном сосуде поднялся на  $1 \text{ см}^3$ ?
5. Ртуть находится в сообщающихся сосудах, площади сечения которых относятся как 1 к 3. Уровень ртути в правом колене расположен на расстоянии 30 см от верхнего конца трубки. Насколько повысится



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 259 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

уровень ртути в левом колене если это колено доверху долить водой.

6. В сообщающихся сосудах площадью сечения  $100 \text{ см}^2$  находится ртуть. В один из сосудов наливают воду массой  $1 \text{ кг}$  и опускают в нее деревянный брусок массой  $0,8 \text{ кг}$ . На сколько поднимется ртуть в другом сосуде? Плотность ртути  $13600 \text{ кг/м}^3$ .

7. Шарик объемом  $6 \text{ см}^3$ , подвешенный на пружине, погрузили в воду. Какова жесткость пружины, если удлинение при этом уменьшилось на  $3 \text{ мм}$ ?

8. Сила Архимеда, действующая на тело, погруженное в воду на  $3/4$  объема, равна  $2 \text{ Н}$ . Найти объем тела в  $\text{см}^3$ .

9. Определите наименьшую площадь плоской льдины толщиной  $30 \text{ см}$ , способной удержать на воде человека массой  $60 \text{ кг}$ . Плотность льда  $900 \text{ кг/м}^3$ .

10. Шарик массой  $20 \text{ г}$  движется с постоянной скоростью вверх в жидкости, плотность которой в  $3$  раза больше плотности вещества шарика. Найдите силу сопротивления жидкости.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.23]

*Задачи для дополнительного решения: [2, §10]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 260 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 10. Импульс. Закон сохранения импульса

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные и расчетные задачи с применением формул: импульса тела, импульса силы, на применение закона сохранения импульса .

### Задачи для решения в аудитории

1. Два одинаковых шарика массами 1 кг движутся навстречу друг другу. Скорость одного шарика 5 м/с, другого 7 м/с. Найдите величину суммарного импульса двух шариков.

2. Мяч массой 300 г, летящий со скоростью 2 м/с, пойман налету. Какова сила удара мяча о руку, если он остановился за 0,02 с?

3. Тело падает под углом  $30^\circ$  к вертикали на горизонтальную плоскость. Определить модуль изменения импульса тела за время удара, если к моменту касания с плоскостью модуль импульса тела равен 6 Н·с. Удар считать абсолютно упругим.

4. Тело массой 2 кг равномерно вращается по окружности радиусом 2 м с угловой скоростью 1 рад/с. Найдите модуль изменения импульса тела при повороте радиус-вектора на  $90^\circ$ .

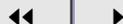
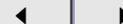
5. Шар массой 300 г, двигавшийся со скоростью 6 м/с, сталкивается абсолютно неупруго с шаром массой 400 г, двигавшемся в том же



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 261 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

направлении со скоростью 2 м/с. Найдите скорость шаров.

6. Два тела, двигаясь навстречу друг другу со скоростью 4 м/с каждое, после соударения стали двигаться вместе со скоростью 2 м/с. Масса первого тела 4 кг. Найдите массу второго тела.

7. Из орудия массой 3 т вылетает в горизонтальном направлении снаряд массой 25 кг со скоростью 700 м/с. Какую скорость (по абсолютной величине) получит орудие при отдаче? Ответ дайте в см/с.

8. Мальчик 30 кг догоняет тележку массой 20 кг, движущуюся со скоростью 2 м/с, и вскакивает на нее со скоростью 10 м/с, под углом  $60^\circ$  к горизонту. Найдите их скорость движения.

9. Человек массой 60 кг со скоростью 5 м/с прыгает в направлении перпендикулярном берегу, на плот массой 200 кг, который плывет по течению со скоростью 1 м/с. Найдите их скорость.

10. Лодка массой 700 кг отплывает от берега со скоростью, направленной под углом  $30^\circ$  к линии берега. С берега на лодку прыгает юноша массой 50 кг со скоростью 6 м/с, перпендикулярной линии берега. При этом лодка продолжает движение под углом  $60^\circ$  к линии берега. Найдите начальную скорость лодки.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.24, упр.25 ], [9, Самост.раб. стр. 174 – 179, Контр.раб. стр. 200 – 205].

*Задачи для дополнительного решения:* [2, §6]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 262 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 11. Работа. Мощность.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи с применением формул: механической работы и мощности, КПД.

### Задачи для решения в аудитории

1. Башенный кран равномерно поднимает груз объемом  $0,2 \text{ м}^3$  на высоту  $25 \text{ м}$ . Найдите работу, совершаемую краном. Плотность материала груза  $7800 \text{ кг/м}^3$ .

2. Груз массой  $20 \text{ кг}$  равномерно передвигают по горизонтальному участку дороги с помощью веревки, наклоненной под углом  $60^\circ$  к горизонту. Коэффициент трения  $0,05$ . Найдите работу силы натяжения на пути  $50 \text{ м}$ .

3. На тело массой  $0,5 \text{ кг}$ , брошенное с поверхности Земли вертикально вверх, с начальной скоростью  $10 \text{ м/с}$ , действует постоянная сила сопротивления, равная по модулю  $1 \text{ Н}$ . Определить работу силы тяжести за время подъема тела до максимальной высоты.

4. Тело массой  $30 \text{ кг}$  поднимают по наклонной плоскости на высоту  $4 \text{ м}$ , причем вдоль плоскости оно прошло  $10 \text{ м}$ . Найдите работу силы трения, если сила тяги параллельна плоскости, а коэффициент трения



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 263 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

равен 0,05.

5. Какую работу надо совершить, чтобы из колодца глубиной 10 м поднять ведро с водой, массой 5 кг, на цепи каждый метр которой имеет массу 500 г.

6. Какую работу надо совершить, чтобы перевернуть кубический ящик массой 10 кг и длиной ребра 1 м.

7. Подъемный кран поднимает груз массой 1,5 т с ускорением  $1 \text{ м/с}^2$  за время 30 с на некоторую высоту. Найдите среднюю мощность, развиваемую силой натяжения тросов.

8. Автомобиль, массой 2,5 т, движется с постоянной скоростью 72 км/ч на подъем с углом наклона  $30^\circ$  и коэффициентом трения 0,2. Найдите мощность, развиваемую двигателем.

9. Нефть откачивают из скважины глубиной 200 м с помощью насоса, потребляющего мощность 20 кВт. Каков КПД насоса, если за одну минуту его работы на поверхность земли подается 90 кг нефти?

10. Высота наклонной плоскости равна 2 м, а длина 10 м. Для равномерного подъема по этой наклонной плоскости груза массой 100 кг потребовалась сила 200 Н. Определите КПД наклонной плоскости.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.26], [9, Самост.раб. стр. 174 – 179].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §7]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 264 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 12.

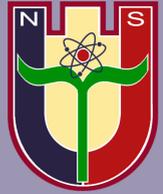
# Механическая кинетическая и потенциальная энергии. Закон сохранения энергии.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи с применением формул: кинетической энергии тела, потенциальной энергии тела в поле силы тяжести и упруго деформированного тела, на применение закона сохранения механической энергии.

### Задачи для решения в аудитории

1. При торможении тела массой 2 кг скорость уменьшилась с 3 м/с до 2 м/с. Определить работу тормозящей силы.
2. Пуля массой 10 г, летящая со скоростью 600 м/с, попадает в стенку. Определить, насколько углубится пуля в стенку, если модуль силы сопротивления движению пули в стене постоянен и равен 10000 Н.
3. Тело массой 2 кг свободно падает с высоты 10 м. Начальная скорость тела равна нулю, сопротивление воздуха отсутствует. На какой высоте потенциальная энергия тела в 4 раза больше кинетической?
4. Пружину растянули на 4 см. Насколько необходимо растянуть пружину, чтобы ее энергия увеличилась в 4 раза?
5. Пружинный пистолет расположен на горизонтальной подставке вы-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 265 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

сотой 2,5 м. Жесткость пружины 180 Н/м, масса снаряда 200 г, перед выстрелом пружина сжата на 5 см. Найдите дальность полета снаряда в горизонтальном направлении.

6. В шар массой 2 кг г, висящий на невесомой нерастяжимой нити длиной 50 см, попадает горизонтально летящая пуля массой 5 г, летящая со скоростью 200 м/с и застревает в нем. На какой угол от вертикали отклонится шар?

7. Шар массой 2 кг, имеющий скорость 6 м/с, абсолютно упруго сталкивается с неподвижным шаром массой 1 кг. Найдите скорость второго шара после удара, считая удар центральным.

8. Небольшое тело соскальзывает без трения с вершины неподвижной полусферы радиусом 0,75 м. На какой высоте (в см) тело оторвется от поверхности полусферы?

9. Цирковой гимнаст массой 50 кг падает в натянутую сетку с высоты 5 м. С какой силой действует на гимнаста сетка, если ее прогиб 1 м?

10. По наклонной плоскости длиной 10 м с углом наклона  $60^\circ$  скользит тело. Найдите скорость тела у основания плоскости, если коэффициент трения равен 0,1.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[5, упр.27, упр.28, упр.29], [9, Контр.раб. стр. 200 – 205].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §8]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 266 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 13.

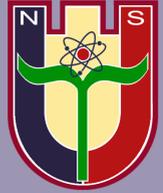
### Молекулярная физика. Основное уравнение МКТ.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на определение массы и размеров молекул, количества вещества, концентрации молекул, плотности, объема, давления, температуры, абсолютной температуры газа, средней квадратичной скорости и средней кинетической энергии поступательного движения молекул, с использованием основного уравнения молекулярно-кинетической теории.

#### Задачи для решения в аудитории

1. Сколько молекул содержится в 2 кг водорода ( $H_2$ )?
2. Какую массу имеют  $3 \cdot 10^{23}$  молекул азота ( $N_2$ )?
3. В  $0,036 \text{ м}^3$  содержится 5,1 кмоль углерода. Найти его плотность, если молярная масса углерода равна 12 г/моль.
4. Озеро со средней глубиной 4 м и площадью  $5 \text{ км}^2$  «посолили», бросив кристаллик поваренной соли  $\text{NaCl}$  массой 20 мг. Спустя очень длительное время из озера зачерпнули стакан воды объемом  $200 \text{ см}^3$ . Сколько ионов натрия из брошенного кристаллика оказалось в этом стакане?
5. Концентрация молекул идеального газа увеличилась в 4 раза, а



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 267 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

средняя энергия поступательного движения молекул уменьшилась в 2 раза. Как при этом изменилось давление газа?

6. Найдите скорость молекул азота (молярная масса  $28 \cdot 10^{-3}$  кг/моль) при температуре 300 К.

7. Найдите отношение квадрата средней скорости молекул идеального газа при температуре 300 К к квадрату средней молекул идеального газа при температуре 600 К.

8. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул газа, если в сосуде вместимостью  $1 \text{ м}^3$  находится 1,5 кг идеального газа при давлении  $10^5$  Па.

9. На сколько изменится средняя кинетическая энергия молекул одноатомного газа при увеличении его температуры от  $7^\circ\text{C}$  до  $27^\circ\text{C}$ ?

10. Под каким давлением находится газ в сосуде, если средний квадрат скорости его молекул  $10^6 \text{ м}^2/\text{с}^2$ , концентрация молекул  $3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ , а масса каждой молекулы  $5 \cdot 10^{-26}$  кг?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.1, упр.2, упр.3], [10, Самост.раб. стр. 6 – 10, Контр.раб. стр. 40 – 45].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §34]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 268 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 14.

### Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы.

### Влажность.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи с использованием уравнения состояния идеального газа, законов Бойля – Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, формул для определения относительной влажности воздуха.

#### Задачи для решения в аудитории

1. Определите массу (в г) водорода, находящегося в баллоне емкостью  $0,06 \text{ м}^3$  под давлением  $8,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$  при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Молярная масса водорода  $2 \text{ кг/кмоль}$ .

2. В барометрической трубке внутри жидкости имеется столбик воздуха, высота которого при  $27^\circ\text{C}$  равна  $9 \text{ см}$ . Определить в сантиметрах высоту столбика воздуха при  $47^\circ\text{C}$ .

3. Если объем некоторой массы газа уменьшить на  $10\%$ , а температуру увеличить на  $24 \text{ К}$ , то давление газа возрастет на  $10\%$ . Найдите начальную температуру газа.

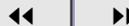
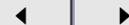
4. В баллоне находилось  $40 \text{ кг}$  газа под давлением  $100 \text{ МПа}$ . Какую массу газа выпустили из баллона, если давление в нем упало до  $20 \text{ МПа}$ , а температура уменьшилась в  $3$  раза?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 269 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

5. Идеальный газ совершает замкнутый цикл, приведенный на рисунке (см. рисунок 92). На каких участках давление газа уменьшается?

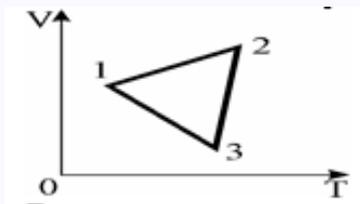


Рисунок 92

6. Постройте график процесса (см. рисунок 93), происходящего с идеальным газом, в координатах  $V, T$ . Масса газа постоянная.

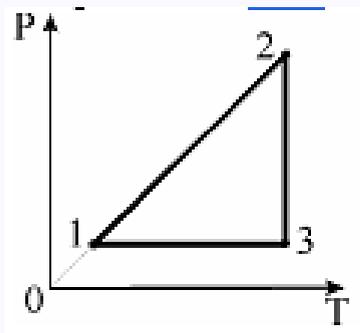


Рисунок 93

7. Плотность воздуха при нормальных условиях  $1,3 \text{ кг/м}^3$ . Найдите плотность воздуха при температуре  $100^\circ\text{C}$  и давлении  $0,4 \text{ МПа}$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 270 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

8. Постройте график процесса (см. рисунок 94), происходящего с идеальным газом, в координатах  $p, T$ . Масса газа постоянная.

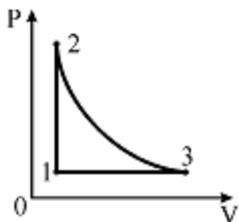


Рисунок 94

9. Определите абсолютную влажность воздуха, если при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  его относительная влажность  $70\%$ , плотность насыщенного водяного пара  $17,3 \text{ г/м}^3$ .

10. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде при температуре  $5^{\circ}\text{C}$  равна  $84\%$ , а при температуре  $22^{\circ}\text{C}$  равна  $30\%$ . Во сколько раз давление насыщенного пара воды при первой температуре больше, чем при второй?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.4, упр.5, упр.6], [10, Самост.раб. стр. 6 – 10, стр. 10 – 15, Контр.раб. стр. 40 – 45].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §35]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 271 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 15.

### Внутренняя энергия идеального газа. Работа и количество теплоты. Уравнение теплового баланса.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на определение работы, количества теплоты и изменения внутренней энергии, уравнение теплового баланса.

#### Задачи для решения в аудитории

1. При увеличении объема одноатомного газа в 3 раза его давление увеличилось на 30%. Как при этом изменилась внутренняя энергия?
2. На рисунке изображен замкнутый цикл в идеальном газе (см. рисунок 95). На каком участке внутренняя энергия возрастала?

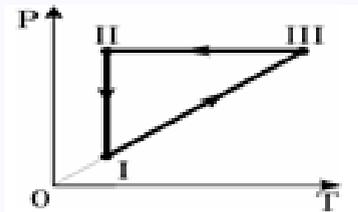
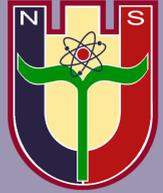


Рисунок 95

3. Кислород массой 0,5 кг при температуре  $T=300$  К охладили изохор-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 272 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

но, вследствие чего его давление уменьшилось в 2 раза. Затем газ изобарно расширили так, что температура его стала равна первоначальной. Какую работу совершил газ? Как изменилась его внутренняя энергия?

4. На рисунке (см. рисунок 96) показаны различные процессы изменения состояния в идеальном газе. В каком процессе совершается большая работа? Чему она равна?

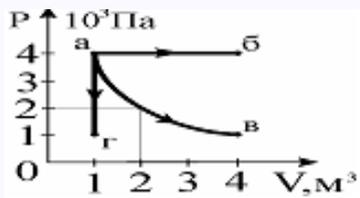


Рисунок 96

5. Удельная теплоемкость никеля в 2 раза больше удельной теплоемкости олова. Во сколько раз количество теплоты, необходимого для нагревания 3 кг никеля на 6 К, больше количества теплоты, необходимого для нагревания 5 кг олова на 3 К?

6. В железном калориметре массой 100 г находится 500 г воды при температуре  $18^\circ\text{C}$ . В калориметр бросают свинец и алюминий общей массой 150 г при температуре  $80^\circ\text{C}$ . В результате температура воды поднялась до  $20^\circ\text{C}$ . Найдите массу свинца.

7. Смешали 5 кг воды при  $40^\circ\text{C}$ , 4 кг воды при  $80^\circ\text{C}$  и 10 кг воды при  $20^\circ\text{C}$ . Определите температуру смеси.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 273 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

8. Истребитель летит со скоростью 1900 м/с и развивает силу тяги 90 кН. КПД его двигателя равен 30%. Определите массу керосина, израсходованного за 1 с полета самолета. Удельная теплота сгорания керосина равна 44 МДж/кг.

9. С какой высоты должна упасть капля воды, при отсутствии силы сопротивления воздуха, чтобы при ударе о землю нагреться на 5°C?

10. Температура плавления железа 1800 К, его удельная теплоемкость 460 Дж/кг·К, а удельная теплота плавления  $3 \cdot 10^5$  Дж/кг. Железный метеорит влетает в атмосферу Земли со скоростью  $2 \cdot 10^3$  м/с, имея температуру 300 К. Восемьдесят процентов кинетической энергии метеорита при движении в атмосфере переходит в теплоту. Какая часть массы метеорита расплавится?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.7, упр.8, упр.9], [ Контр.раб. стр. 45 – 49].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §36]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 274 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 16.

### Первый закон термодинамики и его применение к изопроцессам. Тепловые двигатели. КПД теплового двигателя.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи с использованием первого закона термодинамики, формул для определения коэффициента полезного действия (КПД) тепловых двигателей, коэффициента полезного действия (КПД) цикла Карно.

#### Задачи для решения в аудитории

1. Газу сообщили 200 Дж теплоты и совершили над ним работу, равную 500 Дж. Как при этом изменилась внутренняя энергия газа?
2. Какая часть (в процентах) теплоты, полученной идеальным одноатомным газом при изобарном нагревании, расходуется на увеличение его внутренней энергии?
3. Некоторое количество идеального одноатомного газа изохорно нагрели, сообщив ему 200 Дж теплоты. Затем газ изобарно охладили до первоначальной температуры. Сколько теплоты было отобрано у газа при изобарном охлаждении?
4. Объем кислорода массой 200 г, температура которого  $17^{\circ}\text{C}$ , при



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 275 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

изобарном нагревании увеличился в 1,5 раза. Найдите работу газа при расширении, количество теплоты, сообщенное газу и изменение его внутренней энергии.

5. Какое необходимо затратить количество теплоты, чтобы один моль идеального газа перевести из состояния 1 в состояние 3 (см. рисунок 97)? Температура газа в состоянии 1 равна 293 К.

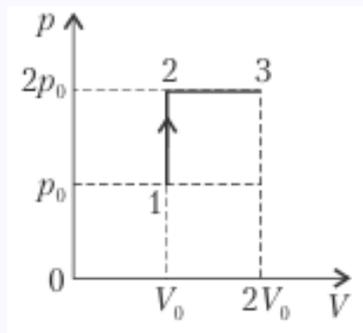


Рисунок 97

6. Один моль идеального газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. При этом его максимальное давление в три раза больше минимального, а максимальный объем в два раза больше минимального. Найдите КПД цикла.

7. КПД идеального теплового двигателя 30%. Газ получил от нагревателя 800 кДж теплоты. Какое количество теплоты отдано холодильнику?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 276 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

8. Идеальная тепловая машина совершает за цикл работу 1000 Дж. Найдите количество теплоты, которое отдает машина за цикл холодильнику если ее максимальный КПД составляет 30%.

9. Температура пара, поступающего в турбину,  $237^{\circ}\text{C}$ , а температура холодильника  $30^{\circ}\text{C}$ . Определите КПД турбины и количество теплоты, получаемой от нагревателя каждую секунду, если за это же время бесполезно теряется 15 кДж энергии.

10. Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины равен 30%. Насколько процентов возрастет коэффициент полезного действия, если на 30% уменьшить температуру холодильника, не меняя температуру нагревателя?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.10, упр.11], [Контр.раб. стр. 45 – 49].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §37]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 277 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 17.

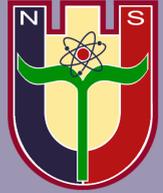
### Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Напряженность электростатического поля.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на определение сил электростатического взаимодействия зарядов, законы сохранения заряда и Кулона, напряженности электростатического поля.

#### Задачи для решения в аудитории

1. Два одинаковых шарика с зарядами  $-5 \text{ мкКл}$  и  $11 \text{ мкКл}$  на короткое время соединяются тонкой проволокой. Определите величину заряда одного из шариков после того, как уберут проволоку.
2. Два положительных точечных заряда взаимодействуют в жидкости с силой  $4 \text{ Н}$ . Один заряд больше другого в  $16$  раз. Расстояние между зарядами  $4 \text{ м}$ .  $\varepsilon=2,1$ . Определите величину зарядов.
3. Точечные заряды  $+q$  и  $+16q$  расположены на расстоянии  $4 \text{ м}$  друг от друга. Какой заряд нужно взять и на каком расстоянии поместить от первого заряда, чтобы вся система находилась в равновесии?
4. Шарик массой  $m$  и зарядом  $q$  подвешен на нити. Снизу к нему подносят одноименный и увеличенный в  $2$  раза заряд. Сила натяжения нити уменьшилась в  $16$  раз. Найдите расстояние между зарядами.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 278 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть



5. Два одинаковых шарика массой 20 г каждый подвешены к одной точке на нитях длиной 20 см. Какой заряд надо сообщить каждому шару, чтобы нити разошлись под прямым углом друг к другу?

6. Четыре одинаковых точечных заряда по 20 нКл каждый расположены в вершинах квадрата со стороной 5 мм. Найдите силу, действующую со стороны трех зарядов на четвертый.

7. Электрон со скоростью 100 м/с влетает в однородное электрическое поле, с напряженностью 5кВ/м. Направление скорости по направлению силовых линий. Сколько времени пройдет до остановки?

8. В вершинах квадрата со стороной 10 см расположены три положительных заряда по  $2 \cdot 10^{-11}$  Кл каждый и один отрицательный  $2 \cdot 10^{-11}$  Кл. Определите напряженность поля в центре квадрата.

9. В однородном электрическом поле напряженностью 10 кВ/м, вектор которой направлен вертикально вниз, на шелковой нити висит шарик массой 0,2 кг с зарядом 0,5 мКл. Найдите силу натяжения нити.

10. Шарик массой 5 г с зарядом 0,2 мкКл помещен в масло плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>. Плотность материала шарика 1200 кг/м<sup>3</sup>. Определите напряженность электрического поля. Шарик находится в равновесии.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.12, упр.13, упр.14], [10, Самост.раб. стр. 15 – 20, Контр.раб. стр. 50 – 54].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §11,12]

## Практическое занятие № 18.

### Потенциал и разность потенциалов. Электроемкость.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи с использованием формул для определения потенциала электростатического поля, работы сил электростатического поля, электроемкости, энергии электростатического поля конденсатора.

#### Задачи для решения в аудитории

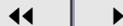
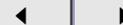
1. Потенциал точечного заряда на некотором расстоянии от заряда равен 100 В. Определить потенциал поля в точке, лежащей на второе большее расстоянии от заряда.
2. В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 0,1 м расположены два заряда 2 мкКл и -1 мкКл. Найти потенциал электрического поля в третьей вершине треугольника.
3. Какую работу совершает однородное электрическое поле напряженностью 150 В/м при перемещении заряда 1 мкКл на 4 см в направлении, составляющем угол  $30^\circ$  с направлением силовых линий?
4. Два точечных заряда 2 мкКл и 4 мкКл находятся в вакууме на расстоянии 80 см. Какая работа нужна, чтобы сблизить их до 20 см?
5. Определить кинетическую энергию электрона, который из состоя-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 280 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

ния покоя прошел разность потенциалов 300 В.

6. Электрон влетает со скоростью 10 Мм/с в электрическое поле, линии напряженности которого направлены по направлению движения частицы. Какую разность потенциалов пройдет электрон до остановки?

7. Между горизонтальными пластинами плоского конденсатора на пластмассовой пружине подвешен заряженный шарик. Когда конденсатор присоединяют к источнику напряжения 300 В, пружина растягивается на 0,5 см. Найдите заряд шарика, если жесткость пружины 10 Н/м, а расстояние между пластинами конденсатора 10 см.

8. В конденсаторе переменной емкости площадь пластин может меняться от 1 см<sup>2</sup> до 4 см<sup>2</sup> при неизменном расстоянии между пластинами. Во сколько раз наибольшая емкость конденсатора больше наименьшей?

9. Плоский воздушный конденсатор емкостью 5 мкФ заряжен до напряжения 220 В и отключен от источника. Пластины раздвигают, увеличивая расстояние в 2 раза. Какую работу при этом совершают?

10. При увеличении напряжения, поданного на конденсатор емкостью 10 мкФ, в два раза энергия поля возросла на 0,2 Дж. Найдите начальные значения напряжения и энергии.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.15, упр.16, упр.17], [10, Самост.раб. стр. 20 – 24, Контр.раб. стр. 50 – 54].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §13,15]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 281 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 19.

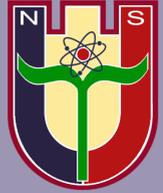
### Сила тока. Сопротивление. Закон Ома для однородного участка цепи.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на определение характеристик электрической цепи с использованием закона Ома для участка цепи, последовательное и параллельное соединения.

#### Задачи для решения в аудитории

1. В проводнике на единицу площади поперечного сечения приходится ток силой 5 А. Найти заряд, прошедший за час через поперечное сечение проводника, если площадь сечения равна 1 см<sup>2</sup>.
2. Какой заряд пройдет через поперечное сечение проводника за время от 2 до 8 с от момента включения тока, если сила тока в проводнике изменяется со временем по закону  $I = 2 + 4t$ .
3. Две проволоки имеют одинаковые массы. Длина первой проволоки в 10 раз больше длины второй. Во сколько раз больше сопротивление первой проволоки? Плотность первой в 3,3 раза больше, чем плотность второй, а удельное сопротивление в 1,65 раза меньше.
4. Найдите напряжение на проволоке длиной 50 м при силе тока в ней 1 А. Сечение проволоки имеет форму квадрата со стороной 4 мм, её



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 282 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

удельное сопротивление  $9 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

5. Длинный провод сопротивлением 12 Ом разрезали на три части и свили вместе. Какое при этом получилось сопротивление провода?

6. В электрическую сеть включены последовательно плитка и реостат, сопротивления которых равны 40 и 50 Ом соответственно. Определите напряжение на реостате, если напряжение на плитке 60 В.

7. Два сопротивления 6 Ом и 4 Ом соединены параллельно. Последовательно к ним включен резистор 2 Ом. Найти силу тока в первом резисторе, если напряжения на резисторе 2 Ом составляет 8 В.

8. Две одинаковые лампы и добавочное сопротивление 4 Ом соединены последовательно и включены в сеть с напряжением 110 В. Найдите силу тока в цепи, если напряжение на каждой лампе 30 В.

9. Вольтметр, рассчитанный на измерение до 2 В, необходимо включить в сеть 12 В. Какое для этого потребуется дополнительное сопротивление? Сила тока в вольтметре не должна превышать 0,05 А?

10. Имеется источник тока напряжением 6 В, резистор сопротивлением 20 Ом и две лампочки на которых написано: 3,5 В, 0,35 А и 2,5 В, 0,5 А. Как правильно собрать цепь?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[4, упр.15, упр.16, упр.17], [9, Самост.раб. стр. 95 – 100, Контр.раб. стр. 121 – 125].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §16]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 283 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 20.

### Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи на определение характеристик электрической цепи с использованием закона Ома для полной цепи.

#### Задачи для решения в аудитории

1. При подключении источника тока с ЭДС 16 В к некоторому сопротивлению напряжение на полюсах источника оказывается 8 В, а сила тока в цепи 1 А. Найдите внутреннее сопротивление источника.
2. При уменьшении сопротивления внешней цепи с 6 Ом до 3 Ом сила тока, текущего через источник, увеличилась с 3 А до 5 А. Найти ЭДС источника тока.
3. Источник тока с ЭДС 15 В и внутренним сопротивлением 1 Ом питает три параллельно соединенных сопротивления по 2 Ом каждое. Определите напряжение на одном сопротивлении.
4. Источник тока с внутренним сопротивлением 3 Ом замкнут на два одинаковых параллельно соединенных резистора. Идеальный вольтметр, подключенный к зажимам батареи, показывает напряжение 6 В. Если один из резисторов отключить, то показание вольтметра возрастет



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 284 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

до 8 В. Найдите сопротивления резисторов.

5. Как изменятся показания вольтметра и амперметра (см. рисунок 98), если замкнуть ключ?

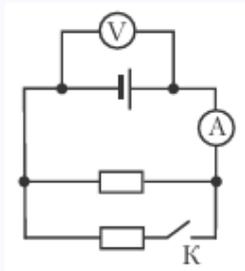


Рисунок 98

6. Как изменятся показания амперметра и вольтметра (см. рисунок 99), если движок реостата передвинуть вправо? Влево?

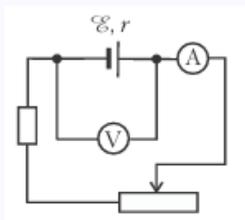


Рисунок 99

7. Внутреннее сопротивление источника тока 1 Ом. Идеальный вольтметр, подключенный к источнику, показывает напряжение 4 В. Что по-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 285 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

кажет вольтметр, если источник тока замкнуть на резистор сопротивлением 2 Ом?

8. Амперметр с внутренним сопротивлением 2 Ом, подключенный к зажимам батареи, показывает силу тока 6 А. Вольтметр с внутренним сопротивлением 120 Ом, подключенный к зажимам такой же батареи, показывает 10 В. Найдите силу тока короткого замыкания батареи.

9. Два вольтметра, подключенные последовательно к не нагруженной батарее, показывают соответственно 5 В и 15 В. Если к батарее подключить только первый вольтметр, он покажет 19 В. Найдите ЭДС батареи.

10. Два резистора по 40 Ом соединены параллельно, к ним последовательно подсоединен резистор 120 Ом. К концам параллельно соединенных резисторов подключен конденсатор 10 мкФ заряд на котором равен 5 мКл. Найдите ЭДС питающего схему источника тока. Внутренним сопротивлением можно пренебречь.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.19], [10, Самост.раб. стр. 24 – 28, Контр.раб. стр. 54 – 59].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §17]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 286 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Практическое занятие № 21. Работа и мощность тока.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические и расчетные задачи с использованием формул для определения работы и мощности электрического тока, закона Джоуля – Ленца, КПД источника тока.

### Задачи для решения в аудитории

1. Электросчетчик показал, что расход электроэнергии за 5 мин составил 0,2 киловатт·часа. Найти силу тока в подводящих электроэнергию проводах, если напряжение сети равно 220 В.
2. Номинальные мощности двух лампочек одинаковы, а номинальные напряжения 120 и 220 В. Как относятся сопротивления ламп первой?
3. Две электролампы, на которых указаны их мощности 60 и 40 Вт, включены последовательно в сеть с постоянным напряжением, соответствующим номинальному напряжению ламп. Какая суммарная мощность будет выделяться на лампах?
4. Электрический утюг, рассчитанный на напряжение 220 В, имеет мощность 400 Вт. При включении утюга в сеть напряжение в розетке падает от 220 до 202 В. Найдите сопротивление подводящих проводов.
5. Электрический чайник имеет две обмотки. При включении только



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 287 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

первой из них вода закипает через 10 мин, только второй — через 20 мин. Через сколько минут закипит вода при одновременном включении обеих обмоток последовательно?

6. Две одинаковые спирали электроплитки можно соединить последовательно или параллельно. Во сколько раз большее количество теплоты выделится при параллельном соединении, чем при последовательном, за одно и то же время?

7. Груз массой 1000 кг равномерно поднимают на высоту 25 м за 10 с. Напряжение на зажимах мотора подъемника 300 В. КПД мотора 30%. Найдите силу тока в моторе и его мощность.

8. Найдите внутреннее сопротивление и ЭДС источника тока, если при силе тока 20 А полезная мощность равна 160 Вт, а при 5 А - 80 Вт.

9. На резисторах 6 и 12 Ом, поочередно подключенных к источнику тока выделяется одинаковая мощность. Найдите ЭДС и КПД цепи.

10. Источник тока со внутренним сопротивлением 1 Ом и ЭДС 12 В замкнут на два последовательно соединенных резистора по 3 Ом каждый. Как изменится полезная мощность если их соединить параллельно?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[4, упр.18], [Контр.раб. стр. 126 – 131].

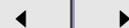
*Задачи для дополнительного решения: [7, §18]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 288 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 22. Индукция магнитного поля. Сила Ампера.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на определение индукции магнитного поля, силы Ампера, графически изображать магнитные поля, определять направления индукции магнитного поля, силы Ампера.

### Задачи для решения в аудитории

1. Покажите, как расположится магнитная стрелка компаса если разместить ее в точках А, В, С (см. рисунок 100)?

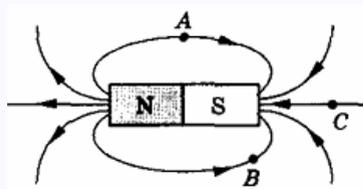


Рисунок 100

2. Два однородных магнитных поля, силовые линии которых взаимно перпендикулярны, имеют модули векторов магнитной индукции 0,2 Тл и 0,4 Тл. Найдите величину вектора магнитной индукции после наложения полей.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 289 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

3. Как направлен вектор магнитной индукции в точке М (см. рисунок 101)?

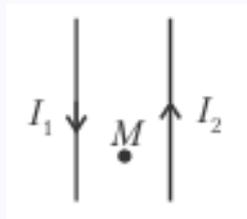


Рисунок 101

4. Что произойдет с круглым проводником с током направленным против часовой стрелки, если возле него разместить плоский магнит (см. рисунок 102)?

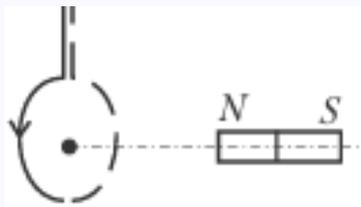


Рисунок 102

5. Направление тока в круговом витке изменили на противоположное. На сколько градусов повернется вектор магнитной индукции?

6. По двум одинаковым квадратным проводникам идет ток одинаковой величины. Квадраты имеют общий центр, а их плоскости перпенди-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 290 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

кулярны друг другу. Для каждого из них модуль магнитной индукции равен 4 мТл. Найдите результирующий модуль магнитной индукции.

7. По горизонтально расположенному проводнику длиной 30 см и массой 2 кг течет ток силой 5 А. Найдите минимальную величину индукции магнитного поля, в которое нужно поместить проводник, чтобы сила тяжести уравновесилась магнитной силой.

8. С какой силой взаимодействуют два параллельных провода с токами 10 А, если длина проводов 10 м и каждый из них создает в месте нахождения другого провода магнитное поле 1 мТл?

9. В проводнике длиной 10 см сила тока равна 40 А. Он находится в магнитном поле с индукцией 30 мТл. Какую работу совершил источник тока, если проводник переместился на 5 см перпендикулярно линиям магнитной индукции?

10. На горизонтальных рельсах, находящихся в вертикальном однородном магнитном поле, лежит стальной брусок, перпендикулярный рельсам. Расстояние между рельсами 20 см. Масса бруска 200 г, коэффициент трения 0,1. Чтобы брусок сдвинулся с места, по нему необходимо пропустить ток 40 А. Какова индукция магнитного поля?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.20, упр.21 ], [10, Самост.раб. стр. 29 – 35].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §20]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 291 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 23.

### Движение заряженных частиц в магнитном поле.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на определение силы Лоренца и характеристик движения заряженной частицы в однородных электрическом и магнитном полях.

#### Задачи для решения в аудитории

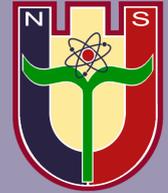
1. Две частицы влетают под углом  $60^\circ$  к линиям индукции магнитного поля. Найдите отношение сил Лоренца, действующих на частицы, если заряд и масса первой частицы в 2 раза больше, чем у второй. Скорости одинаковы.

2. Электрон движется в магнитном поле по круговой орбите с постоянной угловой скоростью. Во сколько раз возрастет угловая скорость электрона, если индукцию магнитного поля увеличить в 4 раза?

3. Протон и альфа-частица влетают в магнитное поле перпендикулярно линиям поля. Найдите отношение их периодов.

4. Электрон движется в магнитном поле с индукцией  $4 \cdot 10^{-4}$  Тл по окружности радиусом 2 см. Найдите модуль импульса частицы.

5. Перпендикулярно линиям индукции в однородное магнитное поле влетает протон и однозарядный ион гелия, ускоренные одинаковой



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 292 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

разностью потенциалов. Найдите отношение их радиусов.

6. В магнитное поле с индукцией 40 мТл перпендикулярно линиям индукции влетает электрон с энергией 6 эВ. Найдите период.

7. Найдите скорость заряженной частицы, которую она приобрела, пройдя ускоряющую разность потенциалов 12,1 кВ и, попав в магнитное поле индукцией 0,087 Тл, описала окружность радиусом 0,17 м.

8. Напряженность электрического поля 2 кВ/м, а индукция магнитного поля 2 мТл. Линии напряженности и индукции взаимно перпендикулярны. Какими должны быть направление и модуль скорости электрона, чтобы он двигался прямолинейно и равномерно?

9. Однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,02$  Тл создано между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми 2 см. Какую минимальную скорость должен иметь электрон, чтобы он мог пройти данную область?

10. Электрон движется в магнитном поле с индукцией 0,04 Тл по дуге окружности радиусом 2 см. Затем электрон попадает в электрическое поле напряженностью  $4 \cdot 10^4$  В/м и движется по направлению силовой линии. Какое расстояние пройдет электрон до остановки?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.22], [10, Самост.раб. стр. 29 – 35].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §21]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 293 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 24. Электромагнитная индукция.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на определение магнитного потока, ЭДС индукции и самоиндукции, индуктивности катушки, энергии магнитного поля с использованием закона электромагнитной индукции.

### Задачи для решения в аудитории

1. Рамка помещена в однородное магнитное поле. Найти в градусах угол между вектором магнитной индукции и плоскостью рамки, при котором поток магнитной индукции через поверхность рамки достигает наибольшего значения.

2. Кольцо радиусом 0,5 м и сопротивлением 0,2 Ом помещено в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл. Плоскость кольца перпендикулярна вектору индукции поля. Какой заряд пройдет через поперечное сечение кольца при исчезновении поля?

3. Тонкий алюминиевый провод массой 16 г согнут в виде квадрата и помещен в однородное магнитное поле с индукцией 0,4 Тл так, что силовые линии перпендикулярны плоскости квадрата. Какой заряд пройдет по проводнику если потянуть квадрат за противоположные вершины и



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 294 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

вытянуть его в линию?

4. Магнит перемещают относительно замкнутого проводящего контура, как показано на рисунке (см. рисунок 103). Как направлен индукционный ток в контуре?

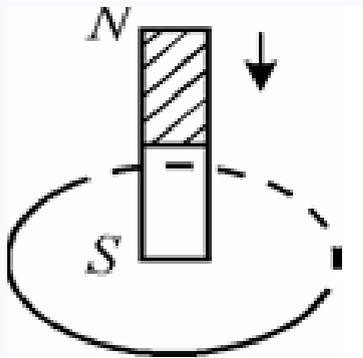


Рисунок 103

5. Самолет летит горизонтально со скоростью 1000 км/ч. Найдите разность потенциалов, возникающую между концами его крыльев, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли 70 мкТл, а размах крыльев 14 м.

6. Поезд со скоростью 120 км/ч приближается к гальванометру, присоединенному к железнодорожным рельсам. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли  $7 \cdot 10^{-5}$  Тл. Сопротивление гальванометра 100 Ом. Расстояние между рельсами 1,5 м. Какой ток покажет гальванометр?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 295 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

7. Проводящий виток радиусом 4 см расположен перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, индукция которого изменяется согласно графику (см. рисунок 104). Найдите ЭДС индукции в момент времени 5 с.

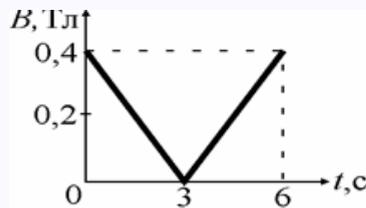


Рисунок 104

8. В катушке с индуктивностью 0,6 Гн возникает ЭДС самоиндукции 10 В. Найти скорость изменения тока в катушке.

9. По катушке с известной индуктивностью протекает ток 1 А. Какой силы ток нужно пропустить по катушке, чтобы энергия магнитного поля этой катушки возросла в 4 раза?

10. Во сколько раз уменьшится энергия магнитного поля соленоида, если силу тока в нем уменьшить на 50 процентов?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[2, упр.23], [10, Самост.раб. стр. 35 – 40].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §22]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 296 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Практическое занятие № 25. Механические колебания.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи при описании гармонических колебаний и волн.

### Задачи для решения в аудитории

1. На рисунке приведен график зависимости смещения колеблющейся точки от времени (см. рисунок 105). Запишите уравнение гармонических колебаний.

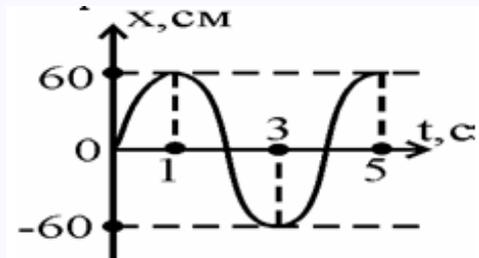


Рисунок 105

2. Точка, совершающая гармонические колебания, проходит за два полных колебания путь в 1 м. Найдите амплитуду колебаний точки.

3. Период гармонических колебаний материальной точки, колеблющейся вдоль оси  $Ox$  равен 1,8 с. Через какой минимальный промежуток



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 297 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

времени точка проходит из крайнего положения до середины амплитуды?

4. Через сколько секунд от начала движения точка, совершающая колебания по закону  $x = A \sin \omega t$ , сместится от начального положения на  $1/2$  амплитуды? Период колебаний 12 с.

5. Собственная циклическая частота колебаний математического маятника на некоторой планете 4 рад/с. Чему равно ускорение силы тяжести на этой планете, если длина маятника 0,5 м?

6. Шар, прикрепленный к пружине, совершает гармонические колебания в горизонтальной плоскости с амплитудой 0,04 м. Определить коэффициент жесткости пружины, если в ходе колебаний максимальное значение силы упругости пружины равно 20 Н.

7. Когда груз неподвижно висел на вертикальной пружине, ее удлинение было равно 3 см. Затем груз оттянули и отпустили, вследствие чего он начал совершать гармонические колебаний. Каков период этих колебаний?

8. Период колебаний пружинного маятника равен 2 с. Пружинный маятник вывели из положения равновесия и отпустили. Через какое время кинетическая энергия колеблющегося тела будет равна потенциальной энергии пружины?

9. Скорость звука в воде 1450 м/с. На каком расстоянии находятся ближайшие точки, совершающие колебания в противоположных фазах, если частота колебаний 750 Гц?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 298 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

10. Найдите разность фаз колебаний точек координаты которых 1 и 4 м в плоской поперечной волне, распространяющейся вдоль оси ОХ (см. рисунок 106).

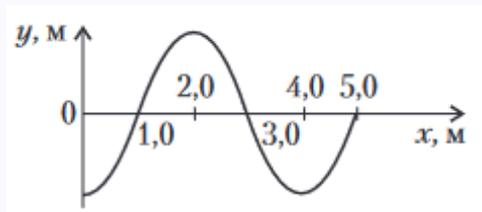


Рисунок 106

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.1, упр.2, упр.3, упр.4, упр.5, упр.6 ], [10, Самост.раб. стр. 66 – 70, Контр.раб. стр. 97 – 102].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §24]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 299 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

## Практическое занятие № 26. Электромагнитные колебания.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи при описании электромагнитных колебаний и волн.

### Задачи для решения в аудитории

1. Пользуясь графиком (см. рисунок 107), напишите уравнение мгновенного значения силы переменного тока.

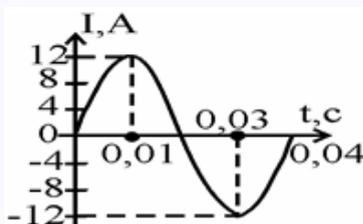


Рисунок 107

2. Сила тока в колебательном контуре изменяется по закону  $I = 0,5 \sin 200t$ . Индуктивность катушки колебательного контура 36 мГн. Определите емкость конденсатора этого контура.

3. На рисунке представлена зависимость от времени заряда на обкладках конденсатора колебательного контура (см. рисунок 108). Най-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 300 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

дите амплитудное значение силы тока.

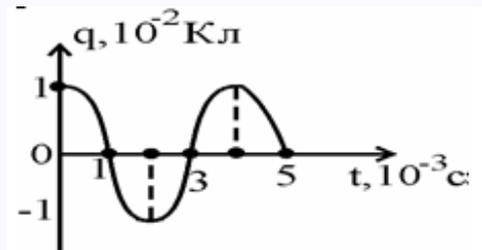


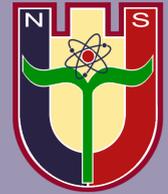
Рисунок 108

4. Полная энергия колебаний в контуре равна 6 Дж. Найти максимальную силу тока в контуре, если индуктивность катушки равна 0,2 Гн.

5. В идеальном колебательном контуре происходят электромагнитные колебания с частотой  $10^4$  Гц. Максимальная сила тока в этом контуре  $10^{-2}$  А. Найдите максимальный заряд на обкладках конденсатора.

6. В контуре имеются конденсатор емкостью 4 мкФ и индуктивность, равная 6 мГн. При возбуждении в контуре электромагнитных колебаний максимальное значение энергии электрического поля в конденсаторе равно 0,02 Дж. Определить максимальное значение энергии магнитного поля.

7. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,5 мГн и конденсатора емкостью 2 мкФ. На какую длину волны настроен этот контур?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 301 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

8. Колебательный контур состоит из плоского воздушного конденсатора. Площадь пластин конденсатора  $100 \text{ см}^2$ , расстояние между пластинами  $1 \text{ мм}$ . Определите индуктивность катушки, если контур настроен на длину волны  $3000 \text{ м}$ .

9. Передатчик работает на длине волны  $50 \text{ м}$ . Индуктивность колебательного контура передатчика  $2,5 \text{ мГн}$ . Найдите емкость конденсатора.

10. Электромагнитные волны распространяются в среде со скоростью  $2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ . Частота электромагнитных волн в вакууме  $2,5 \text{ МГц}$ . Найдите длину волны в вакууме и среде.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.7, упр.8, упр.9], [10, Самост.раб. стр. 70 – 74, Контр.раб. стр. 103 – 108].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 302 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 27. Интерференция и дифракция света.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи при описании явлений интерференции и дифракции, задачи на определение параметров дифракционной решетки.

### Задачи для решения в аудитории

1. Чему равна минимальная разность хода лучей световых волн частотой  $5 \cdot 10^{14}$ , распространяющихся в среде с показателем преломления 1,6, если при интерференции они ослабляют друг друга?
2. Две когерентные световые волны приходят в некоторую точку пространства с оптической разностью хода 1,6 мкм. Усиление или ослабление световых волн будет наблюдаться в точке, если длина волны 500 нм?
3. Расстояние между двумя когерентными источниками света, излучающими волны равной длины 1 мм, расстояние от каждого источника до плоского экрана 2 м. Определите длину световой волны, если расстояние между соседними интерференционными максимумами на экране  $x = 1,2$  мм.
4. В некоторую точку приходят световые волны от двух когерентных



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 303 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

источников с одинаковой длиной волны 520 нм. Найдите разность фаз колебаний в этой точке, если геометрическая разность хода волн равна 2,6 мкм.

5. Определите разность хода параллельных лучей при выходе из призмы (см. рисунок 109). Расстояние между лучами в призме 1 см, показатель преломления стекла 1,5, преломляющий угол призмы  $45^\circ$ .

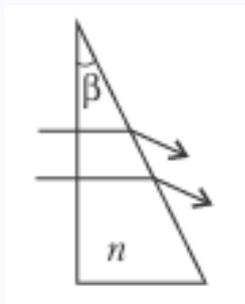


Рисунок 109

6. На экране наблюдается интерференционная картина от двух когерентных источников. Во сколько раз увеличится расстояние между интерференционными максимумами, если расстояние между источниками, расстояние от их плоскости до экрана и длину волны света увеличить в 1,5 раза?

7. Пучок параллельных лучей с длиной волны 500 мкм падает нормально на мыльную пленку с показателем преломления 1,3. При какой минимальной толщине пленки отраженные лучи будут максимально



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 304 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

ослаблены?

8. При нормальном падении монохроматического света на дифракционную решетку с периодом  $1,3 \text{ мкм}$  угол дифракции между максимумами первого порядка  $60^\circ$ . Определите длину волны падающего света.

9. Определите число максимумов в спектре, образующемся при падении монохроматической плоской волны частотой  $6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$  на дифракционную решетку с периодом  $1,5 \text{ мкм}$ .

10. На дифракционную решетку с периодом  $100 \text{ мкм}$  падает нормально монохроматический свет. Найдите длину световой волны, если угол между главными максимумами второго порядка  $60^\circ$ .

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.10, упр.11, упр.12], [10, Самост.раб. стр. 75 – 79, Контр.раб. стр. 108 – 113].

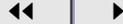
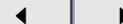
*Задачи для дополнительного решения: [7, §27]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 305 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 28. Геометрическая оптика.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на построение хода световых лучей в сферических зеркалах, плоскопараллельных пластинах; характеристик изображения в зеркалах, тонких линзах с использованием законов прямолинейного распространения, отражения и преломления света, формулы тонкой линзы.

### Задачи для решения в аудитории

1. На расстоянии 1 м от источника расположен диск, за которым находится экран. Определить расстояние между диском и экраном, если радиус круговой тени на экране в 2 раза больше радиуса диска.
2. Параллельный пучок света распространяется горизонтально. Под каким углом к горизонту следует расположить плоское зеркало, чтобы отраженный пучок распространялся вертикально?
3. Человек приближается перпендикулярно к зеркалу со скоростью 5 км/ч. Найдите скорость сближения человека и его изображения.
4. Смещение луча света, вызываемое его прохождением через стеклянную плоскопараллельную пластинку, равно 1 см. Какова толщина пластинки, если угол падения луча на пластинку равен  $30^\circ$ , а показа-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 306 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

тель преломления стекла 1,5.

5. В жидкость с  $n=1,7$  на глубине 10 см помещен источник света. На каком максимальном расстоянии над источником следует поместить диск диаметром 10 см, чтобы свет не вышел из жидкости?

6. В среде с  $n=1,5$  находится сферическая воздушная полость радиусом 2 см. На полость падает пучок параллельных лучей. Определите радиус пучка лучей, попадающих в полость.

7. Пучок лучей, параллельных главной оптической оси, после преломления в линзе расходится. Найдите оптическую силу линзы, если продолжения лучей пересекаются на расстоянии 20 см от линзы.

8. Расстояние от предмета до собирающей линзы в 1,2 раза больше фокусного. Во сколько раз больше фокусного, расстояние от изображения до линзы?

9. На каком расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием 20 см следует поместить предмет, чтобы получить действительное изображение, увеличенное в 2 раза?

10. Линза с фокусным расстоянием 5 см дает увеличенное в 2 раза изображение. Найдите расстояние от предмета до изображения.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.13, упр.14, упр.15, упр.16, упр.17], [10, Самост.раб. стр. 79 – 83, Контр.раб. стр. 108 – 113].

*Задачи для дополнительного решения:* [7, §28,29,30]



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 307 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 29. Элементы СТО.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на определение сокращения длины, замедления времени в различных инерциальных системах отсчета, применение закона взаимосвязи массы и энергии.

### Задачи для решения в аудитории

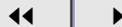
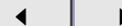
1. Какова длина движущегося со скоростью  $0,9c$  метрового стержня (для земного наблюдателя)?
2. При какой скорости движения стержня релятивистское сокращение его длины составит 50%?
3. Собственное время жизни некоторой нестабильной частицы равно 10 нс. Какой путь пролетит эта частица до распада в лабораторной системе отсчета, где время её жизни равно 20 нс?
4. Как увеличивается продолжительность существования нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя), которая движется со скоростью 90% скорости света?
5. Чайник с 0,5 кг воды нагрели от  $25^{\circ}\text{C}$  до кипения. Насколько изменилась масса воды? Удельная теплоемкость воды равна  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .
6. Насколько уменьшится масса 20 кг воды, при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , при



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 308 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

замерзании?

7. Общая мощность излучения Солнца составляет  $3 \cdot 10^{26}$  Вт. Насколько за 1 мин уменьшается масса Солнца?

8. Пружину жесткостью 20 кН/м сжали на 1 см. Насколько увеличилась ее масса?

9. Найдите такое изменение энергии, которое соответствует изменению массы на величину массы покоящегося электрона.

10. Найдите ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти электрон, чтобы его полная энергия стала в 16 раз больше энергии покоя 0,2 МэВ.

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.18]

*Задачи для дополнительного решения: [7, §31]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 309 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 30. Фотоны. Действие света.

### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на определение энергии фотона, красной границы фотоэффекты, задерживающего потенциала, работы выхода с использованием уравнения Эйнштейна для фотоэффекта.

### Задачи для решения в аудитории

1. Найдите отношение энергии фотона с длиной волны 500 нм и энергии фотона с длиной волны 600 нм.
2. Определите в электронвольтах энергию кванта рентгеновского излучения, длина волны которого равна  $3 \cdot 10^{-10}$  м.
3. Найдите длину волны фотона, энергия которого равна кинетической энергии электрона, модуль скорости которого составляет 50% скорости света в вакууме.
4. Лазер, работающий в непрерывном режиме на длине волны 600 нм, за 1 с излучает  $3 \cdot 10^{18}$  фотонов. Какую мощность развивает этот лазер?
5. Источник света мощностью 200 Вт испускает  $5 \cdot 10^{20}$  фотонов за 1 с. Найдите длину волны излучения.
6. Определите частоту излучения, соответствующую красной границе



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 310 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

фотоэффекта для металла, работа выхода которого составляет 4 эВ.

7. Красная граница фотоэффекта для серебра равна  $3 \cdot 10^{-7}$  м. Определите в электронвольтах работу выхода электронов.

8. Определите в электронвольтах максимальную кинетическую энергию электронов, выбиваемых с поверхности металла фотонами с энергией 4 эВ. Работа выхода электронов из металла равна 1,2 эВ.

9. Работа выхода электронов из некоторого металла 3,6 эВ. Найдите скорость электронов, вылетающих с поверхности металла при освещении его светом с длиной волны  $6 \cdot 10^{-7}$  м.

10. Чему равно задерживающее напряжение для фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла светом с энергией фотонов  $5 \cdot 10^{-19}$  Дж, если работа выхода из этого металла  $2 \cdot 10^{-19}$  Дж?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.19], [10, Самост.раб. стр. 83 – 88, Контр.раб. стр. 113 – 118].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §32]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 311 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 31.

### Физика атома.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на определение частоты и длины волны излучения атома при переходе электрона в атоме из одного энергетического состояния в другое.

#### Задачи для решения в аудитории

1. Чему равна угловая скорость вращения электрона на первой боровской орбите атома водорода?
2. На рисунке представлены первые четыре энергетических уровня в атоме водорода (см. рисунок 110).

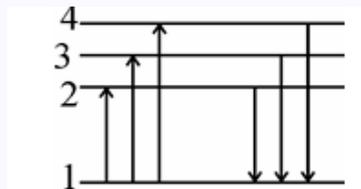


Рисунок 110

Какой из переходов соответствует излучению фотона минимальной энергии?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 312 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

3. Радиус первой боровской орбиты в атоме водорода  $5 \cdot 10^{-11}$  м. Найдите напряженность поля ядра атома водорода на первой боровской орбите.

4. На рисунке представлены первые четыре энергетических уровня в атоме водорода (см. рисунок 111).

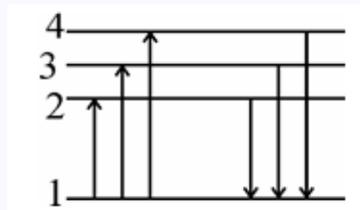


Рисунок 111

Какой из переходов соответствует излучению фотона максимальной энергии?

5. Электрон в атоме переходит со стационарной орбиты с энергией  $-4,2$  эВ на орбиту с энергией  $-7,6$  эВ. Определить в электронвольтах энергию излучаемого фотона.

6. Электрон в атоме водорода находится на четвертом энергетическом уровне. Сколько квантов с различной энергией может испускать этот атом?

7. Насколько изменилась энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны  $5 \cdot 10^{-7}$  м?



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 313 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

8. Для ионизации атома кислорода необходима энергия около 14 эВ. Найдите частоту излучения, которое может вызвать ионизацию.

9. Электрон в атоме водорода перешел из состояния с энергией  $-0,545$  эВ в состояние с энергией  $-0,846$  эВ. Излучается или поглощается при этом квант электромагнитного излучения? Какова его энергия в Дж?

10. Какую наименьшую энергию нужно сообщить электрону, находящемуся в основном состоянии, чтобы спектр излучения водорода содержал только четыре спектральные линии?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.20]

*Задачи для дополнительного решения: [7, §33]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 314 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Практическое занятие № 32.

### Физика ядра.

#### Основные требования к результатам учебной деятельности.

Обучающиеся должны владеть практическими умениями решать качественные, графические, расчетные задачи на определение продуктов ядерных реакций, энергии связи атомного ядра, периода полураспада радиоактивных веществ с использованием закона сохранения электрического заряда и массового числа, формулы взаимосвязи массы и энергии.

#### Задачи для решения в аудитории

1. Сколько протонов и нейтронов содержат в себе  $\alpha$ -частица,  $\beta$ -частица,  $\gamma$ -квант?
2. Чему равны число протонов и число в изотопе фтора  ${}^19_9F$  ?
3. Во сколько раз число нейтронов в ядре атома трития больше, чем число протонов?
4. Заряд всех электронов в атоме кремния равен  $-2,24 \cdot 10^{-18}$  Кл. Какой порядковый номер атома кремния в периодической системе Менделеева?
5. Насколько единиц уменьшится порядковый номер радиоактивного элемента при испускании протона?
6. Во что превращается изотоп тория  ${}^{234}_{90}Th$ , ядра которого претерпе-



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 315 из 320

Назад

На весь экран

Закрыть

вают три последовательных  $\alpha$ -распада? Сколько протонов и нейтронов в получившемся ядре?

7. Определите порядковый номер в таблице Менделеева элемента, образовавшегося из  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  после двух  $\beta$ -распадов и трех  $\alpha$ -распадов.

8. За какое время распадается  $3/4$  начального количества ядер радиоактивного изотопа, если период полураспада  $32$  ч?

9. Период полураспада радиоактивного йода-131 равен восьми суткам. За какое время количество атомов йода-131 уменьшится в  $1000$  раз?

10. Сколько процентов, не распавшихся атомов, останется в веществе за время, равное трем периодам полураспада?

*Задачи для самостоятельного решения (обязательно):*

[3, упр.21, упр.22, упр.23, упр.24, упр.25], [10, Самост.раб. стр. 88 – 97].

*Задачи для дополнительного решения: [7, §39]*



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 316 из 320

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Нулевой вариант заданий к зачету.

Дисциплина «Практикум по решению физических задач» для специальности «Физика и информатика», 2 курс, 3 семестр

### Задачи

1. Огибая остров, корабль проплыл 10 км на север, 15 км на северо-восток и 8 км на восток. Найдите путь, который прошел корабль и перемещение.

2. Автомобиль подъезжает к перекрестку со скоростью 36 км/ч и тормозит с ускорением  $4 \text{ м/с}^2$ . Найти тормозной путь автомобиля до остановки.

3. Поезд массой 1000 т движется по горизонтальному пути. Сила тяги тепловоза 600 кН. Коэффициент трения скольжения равен 0,005. Найдите ускорение, с которым движется поезд.

4. Шар массой 200 г, двигавшийся со скоростью 5 м/с, сталкивается абсолютно не упруго с шаром массой 300 г, двигавшемся в том же направлении со скоростью 4 м/с. Найдите скорость шаров после удара.

5. Определите молярную массу газа, если при  $25^\circ\text{C}$  и нормальном атмосферном давлении его плотность равна  $1,3 \text{ кг/м}^3$ .



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 317 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

## Нулевой вариант заданий к экзамену.

Дисциплина «Практикум по решению физических задач» для специальности «Физика и информатика», 2 курс, 4 семестр

### Экзаменационный билет №0

1. Во сколько раз уменьшится сила взаимодействия двух одинаковых точечных зарядов, если каждый заряд уменьшить в 2 раза и перенести их из вакуума в среду с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 2,5? Расстояние между зарядами не меняется.

2. Определить кинетическую энергию заряда 1,41 Кл, который из состояния покоя прошел разность потенциалов 500 В.

3. Участок цепи состоит из трех проводников сопротивлением 1 Ом, 2 Ом и 3 Ом, включенных последовательно. Найти падение напряжения на участке цепи, если сила тока в проводнике сопротивлением 1 Ом равна 2 А.

4. По горизонтально расположенному проводнику длиной 20 см и массой 4 кг течет ток силой 10 А. Найдите минимальную величину индукции магнитного поля, в которое нужно поместить проводник, чтобы сила тяжести уравновесилась магнитной силой.

5. Предмет находится на расстоянии 20 см от собирающей линзы с оптической силой 4 дптр. Найдите расстояние от изображения до предмета.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 318 из 320

Назад

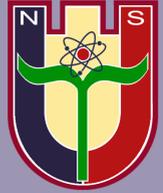
На весь экран

Заккрыть

## Литература

### для дисциплины «Практикум по решению физических задач» для специальности «Физика и информатика», 2 курс

1. Герасимова, Т.Ю. Методика обучения решению задач по физике: метод. пособие / Т.Ю. Герасимова, В.М. Кротов. – Могилев: УО «МГУ им. А.А. Кулешова, 2009. - 160 с.
2. Громыко, Е.В. Физика : учеб. пособие для 10-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Е.В. Громыко, В.И. Зенькович, А.А. Луцевич [и др.] - Минск : Адукацыя і выхаванне, 2019. – 235 с.
3. Жилко, В. В. Физика: учеб. пособие для 11-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / В. В. Жилко, Л. Г. Маркович, А. А. Сокольский. – Минск: Народная асвета, 2021. – 284 с.
4. Исаченкова, Л. А. Физика: учеб. пособие для 8-го кл. общеобразоват. учреждений с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, А. А. Сокольский, Е. В. Захаревич; под ред. А. А. Сокольского. – Минск: Нар. асвета, 2024. – 208 с.
5. Исаченкова, Л. А. Физика: учеб. пособие для 9-го кл. общеобразоват. учреждений с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, А. А. Сокольский, Е. В. Захаревич; под ред. А. А. Сокольского. – Минск: Нар. асвета, 2019. – 208 с.



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 319 из 320

Назад

На весь экран

Закреть

6. Каменецкий, С. Е. Методика решения задач по физике в средней школе / С. Е. Каменецкий, В. П. Орехов. – М.: Просвещение, 1971. – 447 с.

7. Капельян, С. Н. Физика: Пособие для подготовки к централизованному тестированию: пособие для учащихся / С. Н. Капельян, В. А. Малашонок. – 13-е изд. – Минск: Аверсэв, 2015. – 471 с.

8. Савченко, Н. Е. Решение задач по физике: учеб. пособие / Н. Е. Савченко. – 10-е изд. – Минск: Выш. шк., 2011. – 479 с.

9. Физика: Контрольные и самостоятельные работы: 6–9 классы: пособие для учителей учреждений общ. сред. образования с белорус. и рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова [и др.]. – Минск : Аверсэв, 2016. – 222 с. : ил. – (Контрольно-измерительные материалы).

10. Физика: Контрольные и самостоятельные работы: 10–11 классы: пособие для учителей учреждений общ. сред. образования с белорус. и рус. яз. обучения / В.В. Жилко [и др.]. – Минск : Аверсэв, 2015. – 128 с. : ил. – (Контрольно-измерительные материалы).



Кафедра  
общей и  
теоретической  
физики

Начало

Содержание



Страница 320 из 320

Назад

На весь экран

Закреть