

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Институт электронных и информационных систем  
Кафедра Общей и экспериментальной физики



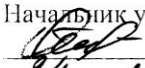
Оминов  
2017 г.

**ФИЗИКА**

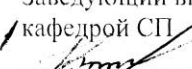
Учебный модуль по направлению подготовки  
08.03.01– Строительство

Рабочая программа

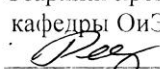
**СОГЛАСОВАНО**

Начальник учебного отдела  
 О.Б.Широколобова  
«24» 10 2017 г.

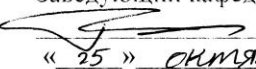
Заведующий выпускающей  
кафедрой ФК  
 А.С.Вареник  
«25» 10 2017 г.

Заведующий выпускающей  
кафедрой СП  
 З.М.Хузин  
«25» 10 2017 г.

**Разработали**

Старший преподаватель  
кафедры ОиЭФ  
 А.А.Росанов  
«25» октября 2017 г.

Принято на заседании кафедры ОиЭФ  
Протокол № 1 от 06.09 2017 г.

Заведующий кафедрой ОиЭФ  
 В.В.Гаврушко  
«25» октября 2017 г.

## **1 Цели и задачи учебного модуля**

Физика создает универсальную базу для изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин, закладывает фундамент последующего обучения в магистратуре, аспирантуре.

Целями учебного модуля (УМ) «Физика» являются:

- Изучение фундаментальных физических законов, теорий, методов классической и современной физики;
- Формирование научного мировоззрения;
- Формирование навыков владения основными приемами и методами решения прикладных проблем.
- Формирование навыков проведения научных исследований, ознакомление с современной научной аппаратурой;
- Ознакомление с историей физики и её развитием, а также с основными направлениями и тенденциями развития современной физики.

Задачи, решение которых обеспечивает достижение цели:

- формирование у студентов системы теоретических знаний в области физики;
- актуализация способности студентов использовать теоретические знания при решении задач и проведении экспериментов;
- формирование у студентов понимания значимости знаний и умений по дисциплине при работе по специальности;
- стимулирование студентов к самостоятельной деятельности по освоению дисциплины и формированию необходимых компетенций.

## **2 Место учебного модуля в структуре ООП направления подготовки**

В соответствии с ФГОС по направлению 08.03.01– Строительство учебный модуль «Физика» относится к базовой части учебного плана. На освоение УМ выделено 6 зачетных единиц. Это составляет 216 часов.

При изучении УМ используются знания по физике, полученные на предыдущем уровне образования (в общеобразовательной школе, колледже и т.п.) Кроме того, используются знания по высшей математике, которая изучается параллельно с освоением этого модуля в соответствии с образовательным стандартом.

Знания, полученные по изучении данного учебного модуля, будут использованы при изучении технических УМ: «Теоретическая механика», «Гидравлика», «Сопроотивление материалов», «Электротехника и электроника» и других.

### 3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование следующих компетенций:

- ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию
- ОПК-2 Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Результаты освоения учебного модуля

- ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию;

| Уровень | Показатели                                                                                                                | Оценочная шкала                                                                                                             |                                                                                                                  |                                                                                                                               |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |                                                                                                                           | 3                                                                                                                           | 4                                                                                                                | 5                                                                                                                             |
| Базовый | Умеет критически оценивать достоинства и недостатки, а также сильные и слабые стороны своей профессиональной деятельности | Недооценивает роли критической оценки достоинств и недостатков, сильных и слабых сторон своей профессиональной деятельности | Готов к критической оценке достоинств и недостатков, сильных и слабых сторон своей профессиональной деятельности | Демонстрирует умение критической оценки достоинств и недостатков, сильных и слабых сторон своей профессиональной деятельности |
|         | Умеет консультировать и прививать навыки работникам по аспектам своей профессиональной деятельности                       | Недооценивает важности роли консультаций и совершенствования навыков работников в своей профессиональной деятельности       | Осознает важность роли консультаций и совершенствования навыков работников в своей профессиональной деятельности | Демонстрирует умение консультировать и прививать навыки работникам по аспектам своей профессиональной деятельности            |

– ОПК-2 Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

| Уровень | Показатели                                                                                                                                                                    | Оценочная шкала                                                                                                                                                     |                                                                                                    |                                                                                                                            |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |                                                                                                                                                                               | 3                                                                                                                                                                   | 4                                                                                                  | 5                                                                                                                          |
| Базовый | Способность осуществлять самоконтроль и самокоррекцию при использовании физико-математического аппарата                                                                       | Способен к самоконтролю, но испытывает сложности в процессе самокоррекции                                                                                           | Способен к самоконтролю, не испытывает сложности в процессе самокоррекции                          | Критически оценивает свои навыки в использовании физико-математического аппарата и вносит необходимые изменения            |
|         | Умение преобразовывать информацию, осуществлять информационную переработку математических данных                                                                              | Способен к частичному преобразованию математических данных, но не способен к информационной переработке математических данных для устного или письменного сообщения | Умеет преобразовывать информацию, осуществлять информационную переработку математических данных    | Способен к переработке информации с учетом выбора темы, легко адаптирует сложную для понимания профессиональную информацию |
|         | Способность к выбору наиболее эффективных математических методов и умение использовать выбранные методы для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности | Испытывает сложности с подбором математических методов                                                                                                              | Способен совершить аргументированный выбор математического метода в зависимости от исходных данных | Демонстрирует способность выбрать наиболее эффективный из математических методов в зависимости от исходных данных          |

## Структура и содержание учебного модуля

### 4.1 Трудоемкость учебного модуля

Табл.1 Трудоемкость учебного модуля по видам учебной работы и по семестрам по направлению 08.03.01– Строительство

| Учебная работа (УР)                                                       | Всего      | Распределение по семестрам |            | Коды формируемых компетенций |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|------------|------------------------------|
|                                                                           |            |                            | 2          |                              |
| <b>Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕТ)</b>                      | <b>6</b>   |                            | 6          |                              |
| <b>Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):</b> | <b>216</b> |                            | <b>216</b> |                              |
| - лекции                                                                  | 36         |                            | 36         | ОК-7,<br>ОПК-2               |
| - практические занятия (семинары)                                         | 18         |                            | 18         |                              |
| - лабораторные работы                                                     | 36         |                            | 36         |                              |
| - аудиторная СРС                                                          | 18         |                            | 18         |                              |
| - внеаудиторная СРС                                                       | 90         |                            | 90         |                              |
| <b>Аттестация:</b>                                                        | <b>36</b>  |                            |            |                              |
| - зачёт*                                                                  |            |                            |            |                              |
| - экзамен                                                                 | 36         |                            | 36         |                              |

\*) зачеты принимаются в часы аудиторной СРС.

## 4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

Учебный модуль построен по «горизонтальной» схеме, где все составляющие модуля вносят приблизительно равный и относительно независимый вклад в образовательный результат. Это позволяет обеспечить системный подход к построению курса, определению его содержания и эффективный контроль усвоения знаний студентами. Каждый раздел модуля состоит из лекций, практических занятий, лабораторных работ, аудиторной самостоятельной работы студентов и внеаудиторной самостоятельной работы студентов. Внеаудиторная СРС включает в себя подготовку к текущим практическим занятиям и лабораторным работам. Результаты этой подготовки проявляются:

- в активности студента на практических занятиях, при выполнении лабораторных работ;
- в качественном уровне подготовленных заданий.

Аудиторная СРС (выполнение дополнительных индивидуальных и групповых заданий, как обязательных, так и по выбору) направлена на самостоятельный поиск различных вариантов решения задач и объяснений результатов экспериментов, проводимых в ходе лабораторных работ, углубление и закрепление знаний по теории физических явлений. Результаты этой формы самостоятельной подготовки оцениваются в ходе индивидуальных консультаций с преподавателем, которые могут быть также дистанционными с использованием средств современных телекоммуникаций. Баллы за специальную самостоятельную подготовку также учитываются при итоговой аттестации по курсу.

Учебный модуль состоит из следующих разделов:

Табл.3 Разделы учебного модуля и их содержание

|                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Механика</b>                                                               |
| 1.1. Измерение физических величин. Погрешности измерений.                        |
| 1.2. Кинематика материальной точки.                                              |
| 1.3. Динамика материальной точки и твердого тела. Силы в механике.               |
| 1.4. Законы сохранения в механике.                                               |
| 1.5. Динамика вращательного движения                                             |
| 1.6. Колебания. Кинематика и динамика гармонических колебаний                    |
| <b>2. Молекулярная физика и термодинамика</b>                                    |
| 2.1. Идеальный газ. Внутренняя энергия идеального газа.                          |
| 2.2. Основное уравнение мол.-кинетической теории идеального газа                 |
| 2.3. Первое начало термодинамики                                                 |
| 2.4. Второе начало термодинамики. Тепловые двигатели                             |
| 2.5. Явления переноса.                                                           |
| <b>3. Электростатика</b>                                                         |
| 3.1. Электрический заряд. Напряженность электростатического поля. Теорема Гаусса |
| 3.2. Работа и потенциал электростатического поля                                 |
| 3.3. Проводники в электростатическом поле. Емкость. Конденсаторы.                |
| 3.4. Энергия электростатического поля                                            |
| <b>4. Постоянный электрический ток</b>                                           |
| 4.1. Постоянный электрический ток. Законы Ома. Действия тока.                    |
| 4.2. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа                                        |
| <b>5. Магнитное поле</b>                                                         |
| 5.1. Магнитное действие тока. Закон Био-Савара-Лапласа.                          |
| 5.2. Сила Ампера. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле.     |
| <b>6. Электромагнитная индукция.</b>                                             |
| 6.1. Магнитный поток. Явление электромагнитной индукции                          |
| 6.2. Самоиндукция. Взаимная индукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля     |

|                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.3. Принцип действия генератора и электродвигателя.                                                         |
| 6.4. Уравнения Максвелла.                                                                                    |
| <b>7. Геометрическая и волновая оптика</b>                                                                   |
| 7.1 Геометрическая оптика                                                                                    |
| 7.2. Световые волны. Интерференция света                                                                     |
| 7.3. Дифракция света                                                                                         |
| 7.4. Поляризация света                                                                                       |
| 7.5. Дисперсия света                                                                                         |
| <b>8. Квантовые свойства света. Строение атома и атомного ядра</b>                                           |
| 8.1. Тепловое излучение и его законы                                                                         |
| 8.2. Фотоэффект и его законы                                                                                 |
| 8.3 Модели строения атома.                                                                                   |
| 8.4. Рентгеновское излучение. Тормозное рентгеновское излучение. Характеристическое рентгеновское излучение. |
| 8.5 Строение атомного ядра. Ядерные силы. . Элементарные частицы                                             |

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение В).

#### 4.3 Лабораторный практикум

Табл. 4 Перечень лабораторных работ

Студент должен выполнить 10 лабораторных работ общей трудоемкостью 36 часов из предложенного списка по индивидуальному графику.

| Номер раздела<br>УМ | Наименование лабораторных работ                                                                                                     | Трудоёмкость,<br>ак.час |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1.1                 | Измерение физических величин                                                                                                        | 3                       |
| 1.2                 | Определение моментов инерции твердых тел методом крутильных колебаний                                                               | 3                       |
| 1.3                 | Исследование законов вращательного движения на маятнике Обербека                                                                    | 3                       |
| 1.4                 | Изучение соударения шаров                                                                                                           | 3                       |
| 1.5                 | Определение скорости полета пули с помощью крутильно-баллистического маятника                                                       | 3                       |
| 2.1                 | Определение отношения молярных теплоемкостей в процессах при постоянном давлении и при постоянном объеме для идеальных газов.       | 3                       |
| 2.2                 | Определение коэффициента вязкости воздуха, средней длины свободного пробега и эффективного диаметра молекул воздуха                 | 3                       |
| 2.3                 | Определение коэффициента вязкости жидкости с помощью вискозиметра либо<br>Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса | 3                       |
| 3.1                 | Исследование электростатического поля                                                                                               | 3                       |
| 3.2                 | Определение емкости конденсаторов                                                                                                   | 3                       |
| 4.1                 | Исследование цепи постоянного тока                                                                                                  | 3                       |
| 4.2                 | Измерение сопротивлений методом мостиковой                                                                                          | 3                       |

|     |                                                                             |   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|---|
|     | схемы                                                                       |   |
| 4.3 | Измерение ЭДС источника методом компенсации                                 | 3 |
| 5.1 | Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли | 3 |
| 5.2 | Определение удельного заряда электрона при помощи магнетрона                | 4 |
| 5.3 | Снятие кривой намагничивания и петли гистерезиса с помощью осциллографа     | 4 |
| 6.1 | Определение коэффициента взаимной индукции 2-х соленоидов                   | 4 |
| 7.1 | Определение фокусного расстояния линз                                       | 3 |

|     |                                                                            |   |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|---|
| 7.2 | Определение длины световой волны при помощи интерференционных колец        | 3 |
| 7.3 | Определение длины волны света с помощью бипризмы Френеля                   | 3 |
| 7.4 | Определение длины волны света с помощью дифракционной решетки              | 3 |
| 7.5 | Исследование явления поляризации.                                          | 3 |
| 8.1 | Определение суммарного коэффициента поглощения тепла оптическим пирометром | 4 |
| 8.2 | Исследование вакуумного и газонаполненного фотоэлемента                    | 4 |
| 8.3 | Исследование спектра испускания водорода и определение постоянной Ридберга | 4 |

#### 4.4 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в Приложении А.

#### 5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения дисциплины используются следующие формы контроля:

- текущий (в течение всего семестра): оценка работы на практических занятиях, оценка выполнения и защиты лабораторных работ, внеаудиторная самостоятельная работа.
- рубежный на девятой неделе семестра: учет суммарных результатов по итогам текущего контроля за соответствующий период и результатов контрольных работ;
- семестровый: по окончании изучения учебного модуля – экзамен.

Оценка качества освоения модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с положением от 2 с положением от 25.03.2014 Протокол УС № 18 «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования». В качестве

оценочных средств на протяжении семестра используются разноуровневые задачи, лабораторные работы, контрольные работы, экзамен.  
Критерии оценивания представлены в следующей таблице.

Табл. 4 Критерии оценки

| Оценочное средство                                                                                   | «удовлетворительно»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | «хорошо»                                                                                                                                                                                        | «отлично»                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                    | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3                                                                                                                                                                                               | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Решение разноуровневых задач на одном занятии. Максимальное число баллов за семестр см. приложение В | 3 балла<br>- при решении задач студент не может объяснить используемый прием вычислений;<br>- допускает 2-3 грубые ошибки в расчетах                                                                                                                                                                                                                   | 4 балла<br>- при решении задач дает недостаточно точные объяснения хода решения;<br>- при решении двух задач допускает 1 ошибку в вычислениях                                                   | 5 баллов<br>- правильно производит вычисления, обнаруживая при этом знание изученного материала                                                                                                                                                                                                               |
| Выполнение лабораторной работы. Максимальное число баллов за семестр см. приложение В                | 8-10 баллов<br>- не соблюдается техника безопасности;<br>- лабораторные работы выполняются не в соответствии с графиком выполнения ЛР;<br>- в ходе проведения измерений допускаются ошибки;<br>- отчет составлен не в соответствии с требованиями СТО 1.701-2010;<br>- недостаточно хорошо использует приобретенные знания для формулирования выводов. | 11-13 баллов<br>- выполнение лабораторной работы удовлетворяет основным требованиям к ответу на «отлично», но есть недочеты или негрубые ошибки, не повлиявшие на результаты выполнения работы. | 14-15 баллов<br>- лабораторная работа выполнена в полном объеме;<br>- соблюдены требования по технике безопасности;<br>- правильно и аккуратно составлен отчет в соответствии с требованиями СТО 1.701-2010.<br>- студент грамотно формулирует ответы;<br>- свободно владеет материалом по изучаемому разделу |
| Выполнение контрольной работы. Максимальное число баллов за семестр см. приложение В                 | 13-16 баллов<br>- работа выполнена в основном верно, но допущены существенные неточности;<br>- студент умеет применять полученные знания при решении простых задач с использованием готовых формул, но                                                                                                                                                 | 17-22 балла<br>- работа выполнена полностью, но в ней имеются недочеты и несущественные ошибки;<br>- в решении задач студент испытывает небольшие трудности в                                   | 23-25 баллов<br>- работа выполнена полностью;                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | затрудняется при решении более сложных задач, требующих преобразования формул                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | применении знаний усвоенных при изучении других разделов                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Экзамен | 25-37 баллов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 38-44 балла                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 45-50 баллов                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- студент не знает значительную часть программного материала;</li> <li>- допустил существенные ошибки в процессе изложения;</li> <li>- не умеет выделить главное;</li> <li>- приводит ошибочные определения;</li> <li>- ни один вопрос не рассмотрен до конца, наводящие вопросы не помогают;</li> <li>- при решении задачи мыслит в правильном направлении, но допускает ошибку в вычислениях</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- студент обладает достаточными знаниями программного материала;</li> <li>- два вопроса освещены полностью или один вопрос освещён полностью, а другой доводится до логического завершения при наводящих вопросах преподавателя;</li> <li>- задача решена верно</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- студент обладает глубокими и прочными знаниями программного материала;</li> <li>- при ответе на два вопроса продемонстрировал исчерпывающее, последовательное и логически стройное изложение материала;</li> <li>- задача решена.</li> </ul> |

Образец варианта контрольной работы:

### Контрольная работа №1

#### Вариант 1

1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси  $x$  имеет вид  $x = A + Bt + Ct^3$ , где  $A = 2 \text{ м}$ ,  $B = 7 \text{ м/с}$ ;  $C = -0,5 \text{ м/с}^3$ . Найти координату  $x$ , скорость  $v$  и ускорение  $a$  точки в момент времени  $t$ , равный 2 с.
2. Тележка с песком массой 40 кг движется горизонтально со скоростью 5 м/с. Камень массой 10 кг попадает в песок и движется вместе с тележкой. Найти скорость тележки после попадания камня: а) падающего по вертикали; б) летящего горизонтально навстречу тележке со скоростью 10 м/с.
3. Платформа в виде диска массой 120 кг вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью 4 рад/с. Человек массой 60 кг стоит на краю платформы. Какова будет угловая скорость платформы, если человек переместится в её центр? Момент инерции человека считать как для материальной точки. Трением об ось пренебречь.

Образец экзаменационного билета:

Министерство образования и науки РФ  
ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный университет  
им. Ярослава Мудрого»

---

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина «Физика»

кафедра О и ЭФ

1. Основные понятия кинематики.
2. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционная решетка.
3. Задача

Заведующий кафедрой О и ЭФ. \_\_\_\_\_ В.В.Гаврушко

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте учебного модуля (Приложение В).

**6 Учебно-методическое и информационное обеспечение**

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля представлено Картой учебно-методического обеспечения (Приложение Г).

**7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля**

Для осуществления образовательного процесса по модулю используется лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами и техническими средствами для проведения основных демонстраций, учебные лаборатории по механике, электричеству и магнетизму, по оптике, компьютерный класс с переносным компьютерным проектором и выходом в Интернет.

## Приложение А (обязательное)

### **Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Физика»**

Учебный модуль «Физика» состоит из 8 разделов, по которым предусмотрены лекционные, практические и лабораторные занятия.

В таблице Б.1 отражены разделы модуля, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студентам и ссылки на дополнительную литературу.

#### **А1. Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля**

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний физики. Теоретические занятия учебного модуля представлены в виде лекций.

**Цель лекции** – организация целенаправленной познавательной деятельности студентов по овладению программным материалом УМ.

**Задачи лекционных занятий** – дать связанное, последовательное изложение материала, сообщить студентам основное содержание предмета в целостном, систематизированном виде.

**Структура и содержание основных разделов** (приведена в рабочей программе учебного модуля, раздел 4.2)

#### **Методы и средства проведения теоретических занятий**

При изучении учебного модуля студенты могут посещать лекционные занятия и вести конспекты или самостоятельно прорабатывать по учебникам и дополнительной литературе вопросы, указанные преподавателем. (Список основной литературы приведен в приложении В).

#### **А.2 Методические рекомендации по лабораторному практикуму и практическим занятиям**

**Цель лабораторного практикума и практических занятий** - формирование компетентности студентов в области физики, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

**Задачи занятий** - углубление знаний, полученных на теоретических занятиях и применение их в условиях, приближенных к условиям реальной профессиональной деятельности.

Структура и содержание основных разделов лабораторного практикума (приведена в рабочей программе учебного модуля, раздел 4.3)

#### **1. Методические рекомендации по проведению лабораторных работ**

При проведении лабораторного практикума студенты самостоятельно выполняют лабораторные работы, получая необходимые консультации у преподавателя. Занятия строятся следующим образом.

Первое занятие:

- проводится инструктаж по технике безопасности;
- студенты разбиваются на группы для выполнения ЛР;
- студенты знакомятся с порядком выполнения, защиты ЛР, правилами оформления отчёта (в соответствии с СТО 1.701-2010. Тестовые документы. Общие правила к построению и оформлению);
- студентам указывается число баллов, которое можно набрать при выполнении лабораторного практикума;
- студенты выполняют первую лабораторную работу.

На втором и последующих занятиях:

- проводится защита выполненной лабораторной работы;
- выполняются последующие лабораторные работы.

Без защиты лабораторных работ допускается выполнить только две работы.

По результатам защит студентам начисляются баллы.

Лабораторный практикум считается выполненным, если студент выполнил и защитил все лабораторные работы. Перечень ЛР приведён в разделе 4.3 настоящей рабочей программы.

Для подготовки и выполнения ЛР по УМ студенты должны методическими указаниями, приведенными в карте учебно-методического обеспечения (Приложение Г, таблица 1)

Методические указания к выполнению ЛР содержат описание установки, используемого оборудования, методику и порядок выполнения лабораторных работ, указания по оформлению отчёта, контрольные вопросы.

## 2 Методические рекомендации по проведению практических занятий

Проведение практических занятий строится следующим образом:

- 60% аудиторного времени отводится на объяснение решения типовых задач у доски;
- 30% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;
- 10% аудиторного времени – разбор ошибок при решении задач (в конце текущего занятия). На каждом практическом занятии по результатам самостоятельной работы могут проставляться баллы.

### А.3 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов планируется по следующим основным направлениям:

- Изучение отдельных вопросов тематического плана дисциплины по указанию лектора.
- Подготовка к лабораторным работам.
- Подготовка к практическим занятиям и решение задач по указанию преподавателя, ведущего практические занятия.
- Подготовка к выполнению контрольных работ.

## Примеры решения задач

### 1. Механика

**Пример 1.** Уравнение движения материальной точки вдоль оси  $x$  имеет вид  $x = A + Bt + Ct^3$ , где  $A = 2 \text{ м}$ ,  $B = 7 \text{ м/с}$ ;  $C = -0,5 \text{ м/с}^3$ . Найти координату  $x$ , скорость  $v$  и ускорение  $a$  точки в момент времени  $\tau$ , равный 2 с.

*Решение.*

Координату  $x$  найдем, подставив в уравнение движения  $x = A + Bt + Ct^3$  числовые значения коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и времени  $t$ .

$$x(\tau) = A + B\tau + C\tau^3 = 2 + 7 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2^3 = 12 \text{ м}$$

Скорость найдем из условия, что проекция мгновенной скорости на ось  $x$  равна первой производной от координат по времени:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2.$$

В момент времени  $t = \tau$

$$v_x(\tau) = \frac{dx}{dt} = B + 3C\tau^2 = 7 - 3 \cdot 0,5 \cdot 2^2 = 1 \text{ м/с}.$$

Ускорение точки находим из условия, что проекция ускорения на ось  $x$  равна первой производной от  $v_x$  по времени:

$$a_x(\tau) = \frac{dv_x}{dt} = 6Ct$$

В момент времени  $t = \tau$

$$a_x(\tau) = \frac{dv_x}{dt} = 6C\tau = -6 \cdot 0,5 \cdot 2 = -6 \text{ м/с}^3.$$

**Пример 2.** Колесо вращается с постоянным угловым ускорением  $2 \text{ рад/с}^2$ . Через  $0,5 \text{ с}$  после начала движения полное ускорение точек обода колеса  $13,6 \text{ см/с}^2$ . Найти радиус колеса.

Дано:  $\varepsilon = 2 \text{ рад/с}^2$ ;

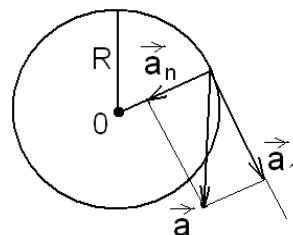
в момент  $t = 0$

$v_0 = 0, \omega_0 = 0$ ;

в момент  $t = 0,5 \text{ с}$

$a = 13,6 \text{ см/с}^2 = 0,136 \text{ м/с}^2$ .

Найти:  $R$ .



*Решение.*

Полное ускорение точек обода колеса  $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$ . Отсюда

$$a^2 = a_n^2 + a_\tau^2 \quad (1.1)$$

Нормальное ускорение  $a_n = \omega^2 R$ . Так как движение происходит с постоянным угловым ускорением, угловая скорость точки на ободу колеса

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t.$$

В нашем случае  $\omega_0 = 0$ , а  $\omega = \varepsilon t$ , поэтому

$$a_n = \varepsilon^2 t^2 R. \quad (1.2)$$

Тангенциальное ускорение связано с угловым

$$a_\tau = \varepsilon R. \quad (1.3)$$

Подставим выражения (1.2) и (1.3) в формулу (1.1):

$$a^2 = \varepsilon^4 t^4 R^2 + \varepsilon^2 R^2.$$

$$\text{Отсюда} \quad R = \frac{a}{\varepsilon \sqrt{1 + \varepsilon^2 t^4}} = \frac{0,136}{2 \sqrt{1 + 2^2 (0,5)^4}} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 6 \text{ см}.$$

**Пример 3.** Через неподвижный блок массой  $m = 0,2 \text{ кг}$  перекинут шнур, к концам которого подвешены грузы массами  $m_1 = 0,3 \text{ кг}$  и  $m_2 = 0,5 \text{ кг}$ . Определить силы натяжения шнура  $T_1$  и  $T_2$  по обе стороны блока во время движения грузов, если массу блока можно считать равномерно распределенной по ободу.

Дано:  $m = 0,2 \text{ кг}$ ;  $m_1 = 0,3 \text{ кг}$ ;  $m_2 = 0,5 \text{ кг}$ .

Найти:  $T_1, T_2$ .

*Решение.*

Два тела  $m_1$  и  $m_2$  движутся поступательно. Воспользуемся вторым законом Ньютона

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m \vec{a}$$

Для первого тела имеем

$$\vec{T}_1 + m_1 \vec{g} = m_1 \vec{a}_1.$$

В скалярном виде (выбираем положительным направление движения вверх)

$$T_1 - m_1 g = m_1 a. \quad (3.1)$$

Для второго тела

$$\vec{T}_2 + m_2 \vec{g} = m_2 \vec{a}_2.$$

Выбираем положительным направление движения вниз

$$m_2 g - T_2 = m_2 a. \quad (3.2)$$

Мы учли, что модули ускорений  $\vec{a}_1$  и  $\vec{a}_2$  равны:  $a_1 = a_2 = a$ .

Третье тело – блок – вращается.

Воспользуемся основным законом динамики вращательного движения

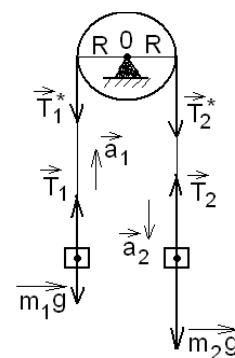


Рис. 2

$$\sum \vec{M}_i = I \vec{\varepsilon}.$$

В нашем случае

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 = I \vec{\varepsilon}.$$

Считая положительным направление вращения по часовой стрелке, получаем

$$M_2 - M_1 = I \varepsilon.$$

Учитывая, что  $M_1 = T_1^* R$ ;  $M_2 = T_2^* R$ ;  $I_{\text{обода}} = m R^2$ ;  $\varepsilon = a/R$ , получаем

$$T_2^* R - T_1^* R = m R^2 \cdot \frac{a}{R},$$

то есть

$$T_2^* - T_1^* = m a.$$

Согласно третьему закону Ньютона с учетом невесомости шнура

$$T_2^* = T_2 \text{ и } T_1^* = T_1.$$

Таким образом

$$T_2 - T_1 = m a. \quad (3.3)$$

Итак, получили систему трех уравнений с тремя неизвестными:  $a$ ,  $T_1$  и  $T_2$ .

$$\begin{cases} T_1 - m_1 g = m_1 a, \\ m_2 g - T_2 = m_2 a, \\ T_2 - T_1 = m a. \end{cases}$$

Сложив, соответственно, левые и правые стороны уравнений, находим

$$(m_2 - m_1)g = (m_1 + m_2 + m)a.$$

Отсюда

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2 + m}. \quad (3.4)$$

Подставляя формулу (3.4) в первое уравнение системы, получаем

$$T_1 = m_1 \left[ g + \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2 + m} \right] = m_1 g \left( 1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2 + m} \right).$$

После подстановки численных значений

$$T_1 = 0,3 \cdot 10 \left( 1 + \frac{0,5 - 0,3}{0,3 + 0,5 + 0,2} \right) = 3,6 \text{ Н}.$$

Соответственно, второе уравнение системы с учетом формулы (3.4) примет вид

$$T_2 = m_2 \left[ g - \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2 + m} \right] = m_2 g \left( 1 - \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2 + m} \right).$$

$$T_2 = 0,5 \cdot 10 \left( 1 - \frac{0,5 - 0,3}{0,3 + 0,5 + 0,2} \right) = 4 \text{ Н}.$$

**Пример 4.** Тележка с песком массой 40 кг движется горизонтально со скоростью 5 м/с. Камень массой 10 кг попадает в песок и движется вместе с тележкой. Найти скорость тележки после попадания камня: а) падающего по вертикали; б) летящего горизонтально навстречу тележке со скоростью 10 м/с.

Дано:

$$m_1 = 40 \text{ кг};$$

$$v_1 = 5 \text{ м/с};$$

$$m_2 = 10 \text{ кг}.$$

$$v_2 = 10 \text{ м/с}$$

Найти:  $u = ?$

*Решение.*

а) Рассмотрим систему, состоящую из тележки и камня. Внешняя сила (сила тяжести) направлена вертикально, поэтому, по отношению к вертикальному движению система незамкнута, и закон сохранения импульса неприменим. В горизонтальном направлении внешние силы отсутствуют, и закон сохранения импульса выполняется в проекции на

направление движения. В качестве положительного направления оси  $X$  примем направление движения тележки.

После вертикального падения камня скорость системы уменьшится только в связи с увеличением массы. Закон сохранения импульса для данного случая имеет вид

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) u, \quad (1)$$

откуда

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 \quad (2)$$

После подстановки числовых значений в выражение (2), получим:

$$u = \frac{40 \cdot 5}{40 + 10} = 4 \text{ м/с}.$$

б) Запишем закон сохранения импульса в проекции на ось  $X$  для случая, когда камень летит горизонтально со скоростью  $v_2 = 10 \text{ м/с}$  и застревает в песке:

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u, \quad (3)$$

откуда

$$u = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}. \quad (4)$$

Произведем вычисления величины  $u$ :

$$u = \frac{40 \cdot 5 - 10 \cdot 10}{40 + 10} = 2 \text{ м/с}.$$

**Пример 8.** Платформа в виде диска массой  $120 \text{ кг}$  вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью  $4 \text{ рад/с}$ . Человек массой  $60 \text{ кг}$  стоит на краю платформы. Какова будет угловая скорость платформы, если человек переместится в её центр? Момент инерции человека считать как для материальной точки. Трением об ось пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 120 \text{ кг};$$

$$\omega_1 = 4 \text{ рад/с};$$

$$m_2 = 60 \text{ кг};$$

$$v_2 = 0$$

Найти:  $\omega_2 = ?$

*Решение.*

Систему, состоящую из человека и платформы, при отсутствии сил трения считаем замкнутой. Поэтому, для решения применим закон сохранения момента количества движения:

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2, \quad (1)$$

где  $I_1$  – момент инерции платформы с человеком, стоящим на её краю;  $I_2$  – момент инерции платформы с человеком в её центре.

Поскольку

$$I_1 = \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2 \text{ и } I_2 = \frac{m_1 R^2}{2}, \quad (2)$$

то, подставив эти выражения в формулу (1), получим

$$\left( \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2 \right) \omega_1 = \frac{m_1 R^2}{2} \cdot \omega_2,$$

откуда

$$\omega_2 = \left( 1 + \frac{2m_2}{m_1} \right) \cdot \omega_1 \quad (3)$$

В результате вычислений получим для  $\omega_2$ :

$$\omega_2 = \left( 1 + \frac{2 \cdot 60}{120} \right) \cdot 4 = 8 \text{ рад/с}.$$

## 2.«Молекулярная физика. Термодинамика»

**Пример 1.** Определить молярную массу газа, находящегося при нормальных условиях (н.у.), если его плотность равна  $0,18 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:

н.у.

$$P = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$T = 273 \text{ К};$$

$$\rho = 0,18 \text{ кг/м}^3.$$

Найти:  $\mu = ?$

*Решение.*

Плотность вещества равна

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $m$  – масса вещества,  $V$  – объём.

Выразим молярную массу газа из уравнения Менделеева-Клапейрона.

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \text{ откуда } \mu = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{P},$$

где  $P$  – давление газа,  $T$  – термодинамическая температура.

В полученное выражение подставим плотность и найдем искомую молярную массу

$$\mu = \rho \cdot \frac{RT}{P}.$$

Произведем вычисления с использованием табличных данных

$$\mu = \rho \cdot \frac{0,18 \cdot 8,31 \cdot 273}{1,01 \cdot 10^5} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$$

**Пример 2.** Баллон содержит 80 г кислорода и 300 г аргона. Давление смеси 10 атм, температура  $15^\circ\text{C}$ . Принимая данные газы за идеальные, определить объём баллона.

Дано:

$$\text{O}_2 - m_1 = 80 \text{ г} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ кг};$$

$$\mu_1 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$\text{Ar} - m_2 = 300 \text{ г} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ кг};$$

$$\mu_2 = 40 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$P = 10 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

$$t = 15^\circ\text{C} \Rightarrow T = 288 \text{ К};$$

Найти:  $V = ?$

*Решение.*

По закону Дальтона давление смеси равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав смеси. Парциальным давлением газа называется давление, которое производил бы газ, если бы только он один находился в сосуде, занятом смесью.

По уравнению Менделеева-Клапейрона парциальные давления кислорода  $P_1$  и аргона  $P_2$  выражаются формулами

$$P_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \cdot \frac{RT}{V} \text{ и } P_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \cdot \frac{RT}{V}.$$

Следовательно, по закону Дальтона для смеси газов  $P = P_1 + P_2$  или

$$V = \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \cdot \frac{RT}{P}, \quad (1)$$

Подставим числовые значения в формулу (1) и произведем вычисления

$$V = \left( \frac{0,08}{32 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,3}{40 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot \frac{8,31 \cdot 288}{10 \cdot 1,01 \cdot 10^5} \approx 0,024 \text{ м}^3 = 24 \text{ л}.$$

**Пример 3.** Найти кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре  $13^\circ\text{C}$ , а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода.

Дано:

$$O_2 - m = 4 \text{ г} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг};$$

$$\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$t = 13^\circ\text{C} \Rightarrow T = 286 \text{ К};$$

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

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

$$\text{Найти: } \varepsilon_{\text{вр}} = ?, W_{\text{вр}} = ?$$

*Решение.*

Известно, что на каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая энергия, выражаемая формулой

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2} kT, \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура газа.

Так как вращательному движению двухатомной молекулы (молекула кислорода – двухатомная) приписываются две степени свободы, то энергия вращательного движения молекулы кислорода выразится формулой

$$\varepsilon_{\text{вр}} = 2 \cdot \frac{1}{2} kT. \quad (2)$$

Подставив числовые значения в формулу (2), получим

$$\varepsilon_{\text{вр}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 286 = 3,94 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа определяется из равенства

$$W_{\text{вр}} = N \varepsilon_{\text{вр}}, \quad (3)$$

где  $N$  – число всех молекул газа.

Число молекул  $N$  можно получить по формуле

$$N = N_A \cdot \nu, \quad (4)$$

где  $N_A$  – число Авогадро,  $\nu$  – число молей газа.

Если учесть, что число молей равно

$$\nu = \frac{m}{\mu},$$

где  $m$  – масса газа,  $\mu$  – масса одного киломоля газа, то формула (4) примет вид

$$N = N_A \cdot \frac{m}{\mu}. \quad (5)$$

Подставив это выражение  $N$  в равенство (3), получим

$$W_{\text{вр}} = N \cdot \frac{m}{\mu} \cdot \varepsilon_{\text{вр}} \quad (6)$$

Подставив числовые значения в формулу (6), найдем

$$W_{\text{вр}} = N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 3,94 \cdot 10^{-21} = 296 \text{ Дж}.$$

**Пример 4.** Чему равны удельные теплоёмкости  $c_V$  и  $c_P$  некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при нормальных условиях равна  $1,43 \text{ кг/м}^3$ ?

Дано:

н.у.

$$P = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$T = 273 \text{ К};$$

$$\rho = 1,43 \text{ кг/м}^3;$$

$$i = 5.$$

Найти:  $c_V = ?$ ,  $c_P = ?$

*Решение.*

Удельные теплоёмкости равны

$$c_V = \frac{i R}{2 \mu} \text{ и } c_P = \frac{(i + 2) R}{2 \mu}.$$

Из уравнения Клапейрона-Менделеева находим

$$\mu = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{P} = \rho \cdot \frac{RT}{P},$$

так как плотность газа  $\rho = m/V$ .

Подставляя молярную массу в формулы для теплоёмкости, имеем:

$$c_V = \frac{i P}{2 \rho T} \text{ и } c_P = \frac{(i + 2) P}{2 \rho T}.$$

Произведем вычисления, учитывая, что для двухатомного газа число степеней свободы  $i = 5$ . Так как при нормальных условиях давление  $P = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и  $T = 273 \text{ К}$ , находим:

$$c_V = \frac{5 \cdot 1,01 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,43 \cdot 273} = 650 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

$$c_P = \frac{(5 + 2) \cdot 1,01 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,43 \cdot 273} = 970 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

**Пример 5.** Кислород массой 2 кг занимает объем 1 м<sup>3</sup> и находится под давлением 0,2 МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема 3 м<sup>3</sup>, а затем при постоянном объеме до давления 0,5 МПа. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и теплоту, переданную газу. Построить график процесса.

Дано:

$$O_2 - m = 2 \text{ кг};$$

$$V_1 = 1 \text{ м}^3;$$

$$P_1 = 0,2 \text{ МПа} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$1) 1 \rightarrow 2, P = \text{const}$$

$$P_2 = P_1, V_2 = 3 \text{ м}^3;$$

$$2) 2 \rightarrow 3, V = \text{const},$$

$$V_3 = V_2,$$

$$P_3 = 0,5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Найти:  $\Delta U = ?$ ,  $A = ?$ ,  $Q = ?$

*Решение.*

Изменение внутренней энергии газа

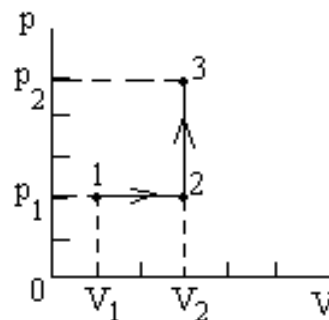
$$\Delta U = \frac{i m}{2 \mu} R \Delta T = \frac{i m}{2 \mu} R (T_3 - T_1), \quad (1)$$

где  $i$  – число степеней свободы молекул газа (для двухатомных молекул кислорода  $i = 5$ ),  $\Delta T = T_3 - T_1$  – изменение температуры газа при переходе из начального состояния в конечное (состояние 3).

Начальную и конечную температуру газа найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

откуда



$$T = \frac{\mu PV}{mR}.$$

Работа расширения газа при постоянном давлении выражается формулой

$$A_{12} = P_1(V_2 - V_1) = P_1V_2 - P_1V_1 = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1).$$

Работа газа, нагреваемого при постоянном объёме, равна нулю

$$A_{23} = 0.$$

Следовательно, полная работа, совершаемая газом,

$$A = A_{12} + A_{23} = A_{12} = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1).$$

Согласно первому началу термодинамики количество теплоты  $Q$ , переданное газу, равна сумме изменения внутренней энергии  $\Delta U$  газа и работы  $A$ , совершённой газом

$$Q = \Delta U + A.$$

Произведем вычисления, учтя, что для кислорода  $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  (см. справочные таблицы):

$$T_1 = \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1}{2 \cdot 8,31} = 385 \text{ K};$$

$$T_2 = \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3}{2 \cdot 8,31} = 1155 \text{ K};$$

$$T_3 = \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 3}{2 \cdot 8,31} = 2887 \text{ K};$$

$$A = A_{12} + A_{23} = A_{12} = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot \frac{2 \cdot 8,31 \cdot (2887 - 385)}{32 \cdot 10^{-3}} = 3,24 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,24 \text{ МДж};$$

$$A = \frac{2 \cdot 8,31 \cdot (1155 - 385)}{32 \cdot 10^{-3}} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 4 \text{ МДж};$$

$$Q = (3,24 + 0,4) = 3,64 \text{ МДж}.$$

График процесса приведен на рис. 2.

## 2.«Электричество»

**Пример 1.** К бесконечной, равномерно заряженной, вертикальной плоскости подвешен на нити одноименно заряженный шарик массой  $m = 40 \text{ мг}$  и зарядом  $q = 670 \text{ нКл}$ . Натяжение нити, на которой висит шарик,  $F_H = 490 \text{ мкН}$ . Найти поверхностную плотность заряда на плоскости.

Дано:

$$F_H = 490 \text{ мкН} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ Н};$$

$$m = 40 \text{ мг} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ кг};$$

$$q = 670 \text{ нКл} = 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}.$$

Найти:  $\sigma = ?$

*Решение.*

Напряженность  $\vec{E}$  электрического поля, созданного бесконечной равномерно заряженной плоскостью, направлена перпендикулярно плоскости и численно определяется формулой

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}, \text{ откуда } \sigma = 2\varepsilon_0\varepsilon E.$$

По определению же этой величины имеем

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_3}{q} \text{ или } E = \frac{F_3}{q}.$$

Значит

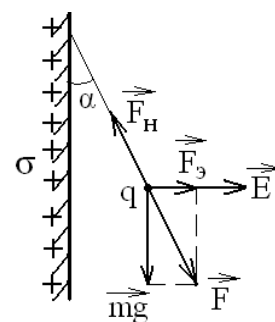


Рис. 2

$$\sigma = \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon F_3}{q}, \quad (1)$$

где  $F_3$  – сила, действующая на заряд  $q$  со стороны электрического поля заряженной плоскости.

Запишем условие равновесия заряженного шарика

$$m\vec{g} + \vec{F}_3 + \vec{F}_H = 0.$$

Введем силу  $\vec{F} = m\vec{g} + \vec{F}_3$ .

Очевидно, что силы  $\vec{F}_H$  и  $\vec{F}$  должны быть направлены вдоль одной прямой, чтобы выполнялось

$$\vec{F} + \vec{F}_H = 0.$$

В скалярном виде

$$F - F_H = 0. \quad (2)$$

Как видно из рисунка

$$F = \sqrt{m^2 g^2 + F_3^2}.$$

Тогда уравнение (2) приобретает вид

$$\sqrt{m^2 g^2 + F_3^2} = F_H$$

Отсюда

$$F_3 = \sqrt{F_H^2 - m^2 g^2}. \quad (3)$$

Учитывая, что  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м,  $\varepsilon = 1$  (воздух) и  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>, вычисляем  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1}{6,7 \cdot 10^{-10}} \sqrt{(4,9 \cdot 10^{-4})^2 + (4 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81)^2} = 7,75 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}.$$

**Пример 4.** Э. д. с. батареи  $\mathcal{E} = 12$  В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея,  $I_{\text{макс}} = 6$  А. Определить максимальную мощность  $P_{\text{макс}}$ , которая может выделяться во внешней цепи.

Дано:

$$\mathcal{E} = 12 \text{ В};$$

$$I_{\text{макс}} = 6 \text{ А}.$$

Найти:  $P_{\text{макс}} = ?$

*Решение.*

Мощность, выделяемую во внешней цепи, определяем по формуле

$$P = I^2 R,$$

где  $I$  – сила тока в цепи,  $R$  – внешнее сопротивление.

По закону Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad (1)$$

где  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока.

Учитывая формулу (4.1), получаем

$$P = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}. \quad (2)$$

Для нахождения  $P_{\text{макс}}$  вычислим производную  $P(R)$  и приравняем её нулю

$$\left[ \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2} \right]' = 0; \quad \frac{(R + r)^2 - 2R(R + r)}{(R + r)^4} = 0.$$

Отсюда получаем  $R = r$ .

Значит,  $P = P_{\text{макс}}$ , если внешнее сопротивление цепи равно внутреннему.

Тогда формула (4.2) примет вид

$$P_{\text{макс}} = \frac{\mathcal{E}^2 r}{(r+r)^2} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}. \quad (3)$$

Как видно из формулы (4.1)  $I = I_{\text{макс}}$  при равенстве нулю внешнего сопротивления (ток короткого замыкания)

$$I_{\text{макс}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Отсюда находим

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_{\text{макс}}} \quad (4)$$

Подставляя формулу (4.4) в уравнение (4.3), окончательно находим

$$P_{\text{макс}} = \frac{\mathcal{E}^2 I_{\text{макс}}}{4\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E} I_{\text{макс}}}{4}.$$

С учетом заданных величин получаем

$$P_{\text{макс}} = \frac{12 \cdot 6}{4} = 18 \text{ Вт}.$$

**Пример 5.** В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 2$  Тл движется протон. Траектория его движения представляет собой винтовую линию с радиусом  $R = 10$  см и шагом  $h = 60$  см. Определить кинетическую энергию протона.

Дано:

$$B = 2 \text{ Тл};$$

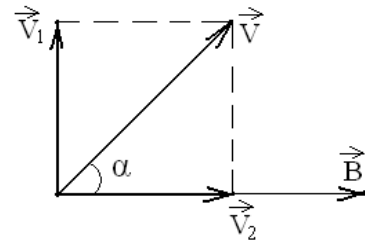
$$R = 10 \text{ см};$$

$$h = 60 \text{ см};$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл};$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Найти:  $W_{\text{кин}} = ?$



*Решение.*

Кинетическая энергия протона (при  $v \ll c$ )

$$W_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света.

Заряженная частица движется в магнитном поле по винтовой линии в случае, когда её скорость  $\vec{v}$  составляет с направлением вектора индукции  $\vec{B}$  угол  $\alpha$ , не равный  $90^\circ$ . В таком случае частица движется по окружности в плоскости, перпендикулярной линиям индукции  $\vec{B}$  со значением составляющей скорости  $\vec{v}_1 \perp \vec{B}$  и одновременно поступательно вдоль силовых линий  $\vec{B}$  со значением составляющей скорости  $\vec{v}_2 \parallel \vec{B}$ .

Как видно из рисунка 4  $v_1 = v \sin \alpha$ ;  $v_2 = v \cos \alpha$ .

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2. \quad (2)$$

Согласно второму закону Ньютона

$$F_{\text{л}} = ma_n.$$

Сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости  $\vec{v}_1$  и сообщает протону нормальное ускорение

$$eBv_1 = \frac{mv_1^2}{R}.$$

Отсюда

$$v_1 = \frac{eBR}{m} \quad (3)$$

где  $R$  – радиус окружности.

Шаг  $h$  винтовой линии – это расстояние, пройденное протоном со скоростью  $v_2$  вдоль силовой линии  $\vec{B}$  за время, равное периоду его вращения  $T$  по окружности

$$h = v_2 T .$$

Так как  $T = \frac{2\pi R}{v_1}$ , то  $h = \frac{2\pi R v_2}{v_1}$ .

Отсюда  $v_2 = \frac{h v_1}{2\pi R} = \frac{h e B}{2\pi m}$ . (4)

Подставляя формулы (1.3) и (1.4) в уравнение (1.2), находим

$$v^2 = \frac{R^2 e^2 B^2}{m^2} + \frac{h^2 e^2 B^2}{4\pi^2 m^2} = \frac{e^2 B^2 (4\pi^2 R^2 + h^2)}{4\pi^2 m^2}$$

Отсюда

$$v = \frac{eB}{2\pi m} \sqrt{4\pi^2 R^2 + h^2} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \sqrt{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,1^2 + 0,6^2} = \\ = 2,65 \cdot 10^7 \text{ м/с} .$$

Как видно,  $v \ll c$ .

Таким образом, для кинетической энергии протона по формуле (1.1) получаем значение

$$W_{кин} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (2,65 \cdot 10^7)^2}{2} = 5,86 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} .$$