

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИДО
С.И. Качин

« ____ » _____ 2012 г.

ФИЗИКА 1

Методические указания и индивидуальные задания
для студентов ИДО, обучающихся по направлениям
140400 «Электроэнергетика и электротехника»,
150700 «Машиностроение»,
220400 «Управление в технических системах»,
220700 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
230700 «Прикладная информатика»,
280700 «Техносферная безопасность»

Составители

Н.С. Кравченко, Е.В. Лисичко, А.В. Макиенко

Семестр	1	2
Кредиты		4
Лекции, часов	2	6
Лабораторные работы, часов		4
Практические занятия, часов		6
Индивидуальные задания		№ 1, № 2
Самостоятельная работа, часов		126
Формы контроля		экзамен

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УДК 53

Физика 1: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИДО, обучающихся по напр. 140400 «Электроэнергетика и электротехника», 150700 «Машиностроение», 220400 «Управление в технических системах», 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств», 230700 «Прикладная информатика», 280700 «Техносферная безопасность» / сост. Н.С. Кравченко, Е.В. Лисичко, А.В. Макиенко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 91 с.

Методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры теоретической и экспериментальной физики ФТИ «___» _____ 2011 г., протокол № ____.

Зав. кафедрой ТиЭФ

профессор, доктор физико-математических наук _____ В.Ф. Пичугин

Аннотация

Методические указания и индивидуальные задания по дисциплине «Физика 1» предназначены для студентов ИДО, обучающихся по направлениям 140400 «Электроэнергетика и электротехника», 150700 «Машиностроение», 220400 «Управление в технических системах», 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств», 230700 «Прикладная информатика», 280700 «Техносферная безопасность». Данная дисциплина изучается в одном семестре.

Приводится содержание основных тем дисциплины, темы практических и перечень лабораторных занятий, варианты заданий для индивидуальных домашних заданий и список рекомендуемой литературы. Даны методические указания по выполнению индивидуальных домашних заданий.

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Физика 1» изучается во втором семестре первого курса студентами ИДО, обучающимися по направлениям 140400 «Электроэнергетика и электротехника», 150700 «Машиностроение», 220400 «Управление в технических системах», 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств», 230700 «Прикладная информатика», 280700 «Техносферная безопасность».

В задачи дисциплины входит изучение основных законов классической механики и молекулярной физики, освоение методов решения типичных физических задач, изучение методов проведения физического эксперимента. Студент должен овладеть навыками обработки результатов измерений, в том числе и с применением ПК.

В результате освоения дисциплины **студент должен знать**: основные положения физических теорий классической и современной механики и молекулярной физики и экспериментальные факты, на которых они базируются; фундаментальные понятия, законы и модели классической и современной механики и молекулярной физики, региональные и университетские требования; иерархическую структуру материи и основных устойчивых объектов природы от простейших частиц до Вселенной, универсальные механизмы взаимодействия материальных тел путем обмена энергией, импульсом; понятия симметрии и ее связь с законами сохранения физических величин; понятие движения как изменения состояний во времени путем последовательности квантовых скачков, фазовых переходов в физических системах, окружающей природе и обществе; методы исследования и расчета механических и термодинамических систем.

В результате освоения дисциплины **студент должен уметь**: применять законы механики и молекулярной физики для объяснения физических явлений в природе и технике, решать качественные и количественные физические задачи; решать типовые задачи по основным разделам курса, используя методы математического анализа; проводить измерения физических величин, объяснение и обработку результатов эксперимента; самостоятельно работать с учебной и справочной литературой; использовать физические законы при анализе и решении проблем профессиональной деятельности.

Дисциплина входит в базовую часть естественнонаучного цикла. Физика является важнейшим источником знаний об окружающем мире, основой научно-технического прогресса и важнейшим компонентом человеческой культуры. Ее значение в современном образовании исклю-

чительно высоко, так как изучение физики как науки, отражающей наиболее общие закономерности в природе, формирует у студентов основные представления о естественнонаучной картине мира. Совместно с математикой физика занимает в обучении студентов одно из важных мест: курс является базовым для изучения дальнейших технических дисциплин, определяет физико-математическую подготовку студентов и, естественно, служит основой, на которой строится дальнейшее обучение студентов.

Курс механики и молекулярной физики совместно с курсами высшей математики и информатики является базовым и определяет физико-математическую подготовку студентов, обучающихся по данному направлению.

Коррективитами для дисциплины «Механика и молекулярная физика» являются дисциплины ЕН и ОП циклов: «Электричество и магнетизм», «Квантовая физика», «Математические методы обработки экспериментальных данных» и другие.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Физические основы механики

1.1. Элементы кинематики

Материальная точка, система материальных точек, абсолютно твердое тело, сплошная среда. Кинематическое описание движения. Прямолинейное движение точки, движение по окружности.

Кинематические характеристики: перемещение, скорость, ускорение.

Кинематика движения абсолютно твердого тела. Скорость и ускорение при криволинейном движении. Вектор угловой скорости, угловое ускорение и их связь с линейными характеристиками.

Рекомендуемая литература: [1, с. 17–48], [4, с. 6–12], [12, 1.1–1.7, 2.1–2.3].

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется материальной точкой?
2. Что такое система отсчета?
3. Что такое радиус-вектор точки?
4. Что называется вектором перемещения?
5. Дайте определения векторов средней и мгновенной скорости, среднего и мгновенного ускорения. Как они направлены?
6. Что характеризует тангенциальное ускорение? Чему равен его модуль?

7. Что характеризует нормальное ускорение? Чему равен его модуль?
8. Какое движение называется вращательным?
9. Что называется угловой скоростью?
10. Что называется угловым ускорением?
11. Как определяются направления угловой скорости и углового ускорения?
12. Какова связь между линейными и угловыми величинами?

1.2. Динамика частиц

Основная задача динамики. Уравнения движения. Масса, импульс, сила. Границы применимости классического способа описания движения частиц. Инерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Третий закон Ньютона. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции. Динамика вращательного движения. Основное уравнение динамики вращательного движения абсолютно твердого тела. Момент инерции тела относительно оси вращения тела. Вращательный момент. Работа сил при вращательном движении. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела.

Рекомендуемая литература: [1, с. 49–73, с.131–161], [4, с. 14–21], [12, 3.1–3.7, 5.1–5.5].

Вопросы для самоконтроля

1. Какая система отсчета называется инерциальной? Сформулируйте законы Ньютона. Что называется силой?
2. В чем заключается принцип независимости действия сил?
3. Какие силы рассматриваются в механике? Дайте их краткую характеристику.
4. Что представляют собой преобразования Галилея? В чем состоит принцип относительности Галилея?
5. Объясните правило сложения скоростей в классической механике.
6. Что такое момент инерции тела?
7. Какой физический смысл имеет момент инерции?
8. Выведите формулу для момента инерции обруча.
9. Сформулируйте и поясните теорему Штейнера.
10. Что называется моментом силы относительно оси вращения?
11. Выведите и сформулируйте уравнение динамики вращательного движения твердого тела.

1.3. Закон сохранения импульса

Импульс системы материальных тел. Центр масс системы. Закон движения центра масс (инерции). Закон сохранения импульса как фундаментальный закон природы.

Рекомендуемая литература: [1, с. 100–103, с. 131–140], [4, с. 19–21], [12, 6.1–6.4].

Вопросы для самоконтроля

1. С каким фундаментальным свойством пространства связан закон сохранения импульса? В чем состоит это свойство?
2. Что называется механической системой?
3. Какая система называется замкнутой?
4. В чем заключается закон сохранения импульса?
5. Что называется центром масс системы частиц?
6. Как движется центр масс замкнутой системы?

1.4. Закон сохранения момента импульса

Момент импульса. Момент силы. Закон сохранения момента импульса. Уравнения моментов.

Рекомендуемая литература: [1, с. 105–110], [4, с. 34–40], [12, 6.1–6.4].

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое момент импульса материальной точки? Твердого тела?
2. Как определяется направление вектора момента импульса?
3. Выведите и сформулируйте закон сохранения момента импульса.

1.5. Закон сохранения энергии

Общие понятия об энергии и работе. Мощность. Энергия движения тела как целого. Работа переменной силы. Консервативные и неконсервативные силы. Кинетическая энергия и ее связь с работой внешних сил. Потенциальная энергия и ее связь с работой внешних сил. Закон сохранения энергии в механике. Общефизический закон сохранения энергии. Применение законов сохранения к столкновению упругих и неупругих тел.

Рекомендуемая литература: [1, с. 74–98], [4, с. 23–33], [12, 4.1–4.6].

Вопросы для самоконтроля

1. Как найти работу переменной силы?
2. Что называется мощностью? Выведите ее формулу.

3. Что называется кинетической энергией?
4. Дайте определение потенциальной энергии.
5. Чем объясняется изменение потенциальной энергии?
6. Сформулируйте закон сохранения энергии.
7. Какова связь между силой и потенциальной энергией?
8. Что такое потенциальная кривая? Поясните на примере, как по виду потенциальной кривой сделать заключение о характере движения тела.
9. Назовите условия устойчивого и неустойчивого равновесия.
10. В чем заключается закон сохранения механической энергии?
11. С каким фундаментальным свойством времени связан закон сохранения энергии? В чем состоит это свойство?
12. Чем отличается абсолютно упругий удар от абсолютно неупругого удара?
13. Запишите законы сохранения для абсолютно упругого и абсолютно неупругого ударов.

1.6. Принцип относительности в механике

Инерциальные системы отсчета и принцип относительности. Преобразования Галилея. Инварианты преобразования. Абсолютные и относительные скорости и ускорения. Закон сложения скоростей в классической механике. Постулаты специальной теории относительности (СТО). Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца: сокращение длины, замедление времени, закон сложения скоростей.

Рекомендуемая литература: [1, с. 217–231], [4, с. 67–74], [12, 7.1–7.4].

Вопросы для самоконтроля

1. Какие причины возникновения специальной теории относительности?
2. В чем заключается постулаты специальной теории относительности?
3. Зависит ли от скорости движения системы отсчета скорость тела? Скорость света?
4. Запишите и поясните преобразования Лоренца.
5. При каких условиях преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея?
6. Какие следствия вытекают из специальной теории относительности для размеров тел и длительности событий в разных системах отсчета?

1.7. Элементы релятивистской динамики

Релятивистский импульс. Уравнение движения релятивистской частицы. Инвариантность уравнения движения относительно преобразований Лоренца. Преобразование импульса и энергии. Закон сохранения импульса и энергии. Релятивистское выражение для кинетической энергии.

Рекомендуемая литература: [1, с. 233–245], [4, с. 76–79], [12, 7.5–7.9].

Вопросы для самоконтроля

1. Какой вид имеет основной закон релятивистской динамики? Чем он отличается от основного закона ньютоновской механики?
2. В чем заключается закон сохранения релятивистского импульса?
3. Напишите выражение для кинетической энергии в теории относительности. При каком условии релятивистская формула для кинетической энергии переходит в классическую формулу?
4. Сформулируйте закон взаимосвязи массы и энергии.

Тема 2. Основы молекулярной физики и термодинамики

2.1. Молекулярно-кинетическая теория газов

Статистический и термодинамический методы. Термодинамические параметры. Уравнение состояния идеального газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Внутренняя энергия идеального газа.

Рекомендуемая литература: [1, с. 262–268], [4, с. 81–87], [12, 9.19–9.4].

Вопросы для самоконтроля

1. Какой газ называется идеальным газом?
2. Какой процесс называется изотермическим процессом?
3. Какой процесс называется изобарическим (изобарным) процессом?
4. Какой процесс называется изохорическим процессом?
5. Какие законы идеального газа Вы знаете?
6. Напишите уравнения состояния идеального газа.
7. Каков физический смысл универсальной газовой постоянной?
8. Каковы основные положения молекулярно-кинетической теории?
9. Приведите пример опытного обоснования молекулярно-кинетической теории.
10. Напишите выражение для средней квадратичной скорости молекул газа.

11. Напишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Какие физические величины входят в это уравнение?

2.2. Статистика Максвелла – Больцмана

Распределение Максвелла. Средняя кинетическая энергия частиц. Скорость теплового движения частиц. Распределение Больцмана.

Рекомендуемая литература: [1, с. 311–324], [4, с. 88–91], [12, 10.1–10.4].

Вопросы для самоконтроля

1. Какими скоростями можно характеризовать тепловое движение молекул газа?
2. Какая скорость называется наиболее вероятной скоростью?
3. Напишите формулу распределения Максвелла для числа молекул, скорости которых лежат в интервале $(v, v + \Delta v)$. Поясните, какие физические величины входят в эту формулу.
4. Напишите барометрическую формулу. Какую зависимость выражает барометрическая формула?
5. Получите, пользуясь барометрической формулой, распределение Больцмана.

2.3. Первое начало термодинамики

Обратимые и необратимые тепловые процессы. Работа расширения газа. Первое начало термодинамики. Теплоемкость газов. Процессы в газах. Применение I-го начала термодинамики к изопроцессам и адиабатному процессу идеального газа.

Рекомендуемая литература: [1, с. 268–284], [4, с. 100–107], [12, 11.1–11.3, 12.1–12.3].

Вопросы для самоконтроля

1. Каким методом изучения явлений пользуются в термодинамике?
2. Напишите математическую формулировку первого начала термодинамики. Что такое ΔU , ΔA , ΔQ ?
3. Что называется числом степеней свободы?
4. Сколько степеней свободы имеет одноатомный газ? Двухатомный? Трехатомный?
5. Что называется внутренней энергией идеального газа?
6. Напишите, чему равно изменение внутренней энергии идеального газа.

7. Чему равна работа идеального газа при изобарическом процессе? При изохорическом? При изотермическом?
8. Что называется удельной теплоемкостью? Молярной? Напишите соотношение между ними.
9. Чему равна молярная теплоемкость газа при постоянном объеме?
10. Чему равна молярная теплоемкость газа при постоянном давлении?
11. Что называется коэффициентом Пуассона? Как выражается коэффициент Пуассона через число степеней свободы?
12. Какие выводы можно сделать из классической теории теплоемкости? Как эти выводы согласуются с экспериментальными данными?
13. Дайте понятие о квантовой теории теплоемкости.

2.4. Второе начало термодинамики

Тепловые машины. Круговой процесс (цикл). Цикл Карно. КПД тепловой машины. Энтропия. Второе начало термодинамики. Статистический смысл второго начала термодинамики.

Рекомендуемая литература: [1, с. 340–356], [4, с. 110–116], [12, 14.1–14.4]

Вопросы для самоконтроля

1. Какой процесс называется круговым процессом?
2. Какой цикл называется прямым циклом?
3. Какая машина называется тепловой машиной? Начертите схему действия тепловой машины.
4. Чему равен коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины?
5. Начертите в координатах P, V прямой цикл Карно. Из каких процессов он состоит?
6. Чему равен КПД прямого цикла Карно?
7. Начертите схему идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно.
8. Начертите в координатах P, V обратный цикл Карно.
9. Начертите схему идеальной холодильной машины.
10. Какой цикл называется обратным циклом?
11. Какая машина называется холодильной машиной? Начертите схему действия холодильной машины.
12. Какой процесс называется обратимым процессом? Необратимым?
13. Напишите неравенство Клаузиуса.
14. Возможен ли процесс, при котором теплота, взятая от нагревателя, полностью преобразуется в работу?

15. В каком направлении может изменяться энтропия замкнутой системы? незамкнутой системы?

16. Дайте понятие энтропии.

2.5. Явления переноса

Понятие о физической кинетике. Эффективные сечения рассеяния. Длина свободного пробега. Явления диффузии, вязкости, теплопроводности. Коэффициент диффузии, коэффициент теплопроводности, вязкости.

Рекомендуемая литература: [1, с. 400–415], [4, с. 92–95], [12, 9.5, 18.1–18.4].

Вопросы для самоконтроля

1. В чем сущность явлений переноса? Чем характеризуются явления переноса?
2. Каков механизм явлений переноса?
3. Какие явления переноса в газах Вы знаете? Расскажите кратко об этих явлениях.
4. Что общего во всех явлениях переноса?

2.6. Реальные газы

Отступления от законов идеального газа. Реальные газы. Уравнения Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса.

Рекомендуемая литература: [1, с. 233–245], [4, с. 119–125], [12, 16.1–16.4].

Вопросы для самоконтроля

1. Запишите уравнение Ван-дер-Ваальса для одного моля реального газа. Какие свойства реального газа отражают поправки «а» и «в» в этом уравнении.
2. Начертите одну теоретическую изотерму Ван-дер-Ваальса и при той же температуре экспериментальную изотерму.
3. Какая ветвь экспериментальной изотермы соответствует сжатию газа при низких давлениях? Сжатию жидкости? Процессу сжижения газа?
4. Какая температура называется критической?
5. В каком состоянии может существовать вещество при температурах выше критической? Ниже критической?
6. В чем заключается эффект Джоуля – Томсона?

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематика практических занятий

1. Элементы кинематики поступательного и вращательного движения (2 часа).
2. Динамика поступательного и вращательного движения (2 часа).
3. Основы молекулярно – кинетической теории и термодинамики (2 часа).

3.2. Тематика лабораторных работ для студентов, обучающихся по классической заочной формы (КЗФ)

Название лабораторных работ, их число и последовательность выполнения определяются маршрутом и календарным планом, составленным преподавателем в процессе проведения лабораторных работ со студентами. На каждую лабораторную работу отводится 2 часа. Лабораторные работы с индексом «М» проводятся в механической лаборатории. Лабораторные работы с индексом «МодМ» проводятся в компьютерном классе. К выполнению лабораторной работы студент может приступить только после того, как получит у преподавателя допуск к выполнению лабораторной работы. Допуск к выполнению лабораторной работы студент получает по результатам устного ответа на контрольные вопросы, с которыми он должен ознакомиться при изучении методического указания по данной лабораторной работе. Если лабораторные работы не сделаны, то студент не допускается до сдачи экзамена. Сайт кафедры, где можно ознакомиться с методическими указаниями ко всем лабораторным работам [13].

М-00 Определение линейных величин и углов.

М-02 Определение средней силы сопротивления грунта забивке сваи на модели копра.

М-03 Определение модуля Юнга из растяжения на приборе Лермонтова.

М-04 Определение модуля Юнга по изгибу.

М-05 Определение коэффициента теплопроводности воздуха.

М-07 Определение момента инерции тела из крутильных колебаний.

М-08 Определение момента инерции тела и проверка теоремы Штейнера.

М-09 Проверка основного закона динамики вращательного движения на крестообразном маятнике.

М-10 Проверка закона сохранения момента импульса.

М-12 Определение средней длины свободного пробега и эффективного диаметра молекулы воздуха.

М-13 Определение коэффициента внутреннего трения методом Пуазейля.

М-14 Определение момента силы трения при помощи машины Атвуда.

М-15 Определения отношения удельной теплоемкости газов при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме способом Клемана и Дезорма.

М-17 Упругий и неупругий удар шаров.

М-18 Определение модуля сдвига методом колебаний.

М-19 Определение коэффициентов силы трения, скольжения.

М-20 Экспериментальное определение функции распределения плотности вероятности случайных величин.

М-21 Определение скорости полета пули при помощи баллистического крутильного маятника.

М-23 Изучение законов динамики на машине Атвуда.

М-27 Определение ускорения свободного падения при помощи машины Атвуда.

МодМ-01 Определение ускорения свободного падения.

МодМ-02 Проверка второго закона Ньютона.

МодМ-03 Закон сохранения импульса.

МодМ-04 Момент инерции твердого тела.

МодМ-05 Работа и энергия.

МодМ-06 Реактивное движение.

МодМ-07 Движение инертного тела в гравитационном поле.

МодТ-01 Вытекание жидкости из малого отверстия.

МодТ-02 Движение в вязкой среде.

МодТ-03 Движение броуновской частицы.

МодТ-04 Распределение Максвелла.

МодТ-05 Распределение Больцмана.

3.2. Тематика лабораторных работ для студентов, обучающихся с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Для студентов ДОТ лабораторные работы разработаны с использованием Flesh-технологии и выставлены по адресу [14]. Количество лабораторных работ, последовательность их выполнения задается преподавателем. Студент должен проделать лабораторную работу и результаты в электронном или распечатанном виде отправить преподавателю, который его курирует. Оформление работы должно соответствовать требованиям, которые представлены в методических

указаниях к лабораторной работе. Преподаватель в течение трех дней предоставляет студенту рецензию на проделанную работу. Все лабораторные работы студентам необходимо проделать до сессии. Если лабораторные работы не сделаны, нет положительной рецензии преподавателя, то студент не допускается до сдачи экзамена.

М-00 Определение линейных величин и углов (2 часа).

М-03^a Определение модуля Юнга из растяжения на приборе Лермонтова (2 часа).

М-09 Проверка основного закона динамики вращательного движения на крестообразном маятнике (2 часа).

М-13 Определение коэффициента внутреннего трения методом Пуазейля (2 часа).

М-15 Определения отношения удельной теплоемкости газов при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме способом Клемана и Дезорма (2 часа).

М-17 Упругий и неупругий удар шаров (2 часа).

4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

4.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком для студентов, обучающихся по направлениям 140400 «Электроэнергетика и электротехника», 150700 «Машиностроение», 220400 «Управление в технических системах», 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств», 220700 «Автоматизация технологических процессов», 230700 «Прикладная информатика», 280700 «Техносферная безопасность» предусмотрено выполнение двух индивидуальных домашних заданий (ИДЗ). Выполнение этих заданий необходимо для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков решения типовых задач.

Индивидуальное задание № 1 соответствует темам 1–2 раздела 2 «Содержание теоретического раздела дисциплины». Индивидуальное задание № 2 соответствует темам 3–4 раздела 2.

Студент выполняет **вариант индивидуального домашнего задания**, номер которого совпадает с последними цифрами шифра его зачетной книжки. Например, если номер зачетной книжки 3-5A11/04, то студент выбирает вариант индивидуального домашнего задания под номером 4, если шифр Д-5A11/20, то номер ИДЗ 20, если шифр 3-5A11/25, то номер ИДЗ 5.

Индивидуальные задания выполняются и высылаются на проверку преподавателю в соответствии с графиком изучения дисциплины.

4.1.1. Для студентов классической заочной формы обучения (КЗФ)

При оформлении необходимо соблюдать следующие требования:

1. Каждое индивидуальное задание оформляется отдельно, в отдельной тетради.
2. Обязательно должен быть титульный лист. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы, шифр.
3. Каждая задача должна начинаться с условия задачи, ниже краткая запись задачи, если возможно – рисунок, с условными обозначениями, которые в дальнейшем будут использованы при решении задач.
4. Решения всех задач должны быть подробными, со всеми промежуточными расчётами, с указанием использованных формул и т.п.
5. Решения задач следует располагать в той же последовательности, что и задания.
6. Все страницы работы должны иметь сквозную нумерацию.
7. Обязательно прилагается список использованной литературы, в который включается рабочая программа и методические указания, в соответствии с которыми выполнены задания.
8. Студент КЗФ должен быть готов защитить свои индивидуальные задания преподавателю во время сессии.
9. В случае не соответствия работы требованиям студент получает оценку «незачтено». В этом случае работа должна быть исправлена и повторно предоставлена преподавателю.
10. Студент, не получивший положительной аттестации по всем индивидуальным заданиям, не допускается к сдаче экзамена по данной дисциплине.

4.1.2. Для студентов, обучающихся с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Студенты, обучающиеся с использованием ДОТ, в обязательном порядке получают рецензию на каждое индивидуальное задание. Правильно выполненные работы студенту не возвращаются.

При оформлении необходимо соблюдать следующие требования:

1. Каждое индивидуальное задание оформляется в отдельном файле. Условия и решения задач необходимо набрать с использованием программы Microsoft Word, формулы набираются в MathType. Кегль не менее 12.

2. Обязательно должен быть титульный лист. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы, шифр.

3. Каждая задача должна начинаться с условия задачи, ниже краткая запись задачи, если возможно – рисунок, с условными обозначениями, которые в дальнейшем будут использованы при решении задач.

4. Решения всех задач должны быть подробными, со всеми промежуточными расчётами, с указанием использованных формул и т.п.

5. Решения задач следует располагать в той же последовательности, что и задания.

6. Все страницы работы должны иметь сквозную нумерацию.

7. Обязательно прилагается список использованной литературы, в который включается рабочая программа и методические указания, в соответствии с которыми выполнены задания.

8. В случае не соответствия работы требованиям к оформлению студент получает отрицательную рецензию. В этом случае работа должна быть исправлена и повторно отправлена на проверку преподавателю в минимально короткий срок.

9. Студент, не получивший положительной аттестации по всем индивидуальным заданиям, не допускается к сдаче экзамена по данной дисциплине.

4.2. Варианты домашних заданий и методические указания

4.2.1. Индивидуальное задание № 1

ВАРИАНТ № 1

1. Тело, брошенное вертикально вверх, вернулось на землю через 4 с. Какова была начальная скорость полёта и на какую высоту поднялось тело?

Ответ: 19.6 м/с; 19.6 м.

2. Колесо вращается с угловым ускорением 2 рад/с^2 . Через одну секунду после начала вращения полное ускорение колеса достигло $27,2 \text{ см/с}^2$. Найти радиус колеса.

Ответ: 6.1 см

3. Из одного и того же места начали равноускоренно двигаться в одном и том же направлении две точки, причём, вторая начала движение на две секунды после первой. Первая двигалась с начальной скоростью 2 м/с и ускорением 1 м/с^2 , вторая – с начальной скоростью 8 м/с и ускорением 2 м/с^2 . Через какое время и на каком расстоянии от исходного положения вторая точка догонит первую?

Ответ: 1.3 с; 12 м

4. Во время движения на автомобиль массой 10^3 кг действует сила трения с коэффициентом 0,1. Чему должна быть равна сила тяги, чтобы автомобиль двигался равномерно? С ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$?

Ответ: 980 Н; 1480 Н.

5. Невесомый блок укреплен на вершине наклонной плоскости, составляющей угол 30° с горизонтом. Две гири одинаковой массы по 1 кг соединены нитью и перекинута через блок. Найти ускорение, с которым движутся гири, натяжение нити, если коэффициент трения о наклонную плоскость 0,1.

Ответ: 2.0 м/с^2 ; 7.8 Н.

6. Автомобиль массой 1000 кг движется со скоростью 36 км/ч по выпуклому мосту. Радиус кривизны моста 200 м. С какой силой давит автомобиль на мост в точке, направление на которую из центра кривизны моста составляет с вертикалью угол 60° ?

Ответ: 4.4 кН

7. Шайба, имея начальную скорость 5 м/с, прошла до удара о борт площадки 10 м. Какой путь пройдет шайба после удара? Удар считать абсолютно упругим, коэффициент трения 0,1.

Ответ: 2.8 м

8. Два тела движутся навстречу друг другу и соударяются неупруго. Скорости тел до удара были 3 м/с и 3,6 м/с. Общая скорость тел после удара 1,2 м/с и по направлению совпадает с направлением скорости первого тела. Во сколько раз до удара кинетическая энергия первого тела была больше кинетической энергии второго тела?

Ответ: 1.85

9. Маховик (однородный диск), момент инерции которого $36,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, вращается с угловой скоростью 25,12 рад/с. Найти момент сил торможения, под действием которого маховик останавливается через 15 с.

Ответ: 61 Н·м

10. Однородный стержень длиной 0,6 м подвешен на горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. Какую скорость надо сообщить нижнему концу стержня, чтобы он сделал полный оборот вокруг оси?

Ответ: 5.9 м/с

ВАРИАНТ № 2

1. Диск радиуса 0,3 м вращается согласно уравнению $\varphi(t) = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2$ рад, $B = -0,5$ рад/с, $C = 0,1$ рад/с³. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорение точек на окружности диска для момента времени $t = 8$ с.

Ответ: 1.44 м/с², 105 м/с², 105 м/с²

2. Камень, брошенный со скоростью 10 м/с под углом 30° к горизонту, упал на землю на некотором расстоянии от места броска. С какой высоты надо бросить этот камень в горизонтальном направлении, чтобы при той же начальной скорости он упал на то же место?

Ответ: 3.8 м

3. С аэростата на высоте 200 м выпал предмет. Через какое время он достигнет земли, если: а) аэростат поднимается со скоростью 6 м/с; б) опускается с той же скоростью; в) аэростат неподвижен?

Ответ: 7.0 с; 5.8 с; 6.4 с

4. Груз массой 50 кг придавлен к вертикальной стене силой 100 Н. Какую надо приложить силу, чтобы равномерно тянуть груз вертикально вверх, и, чтобы удерживать груз в покое, если коэффициент трения о поверхность стены 0,3?

Ответ: 520 Н; 460 Н.

5. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей угол 45° с горизонтом. Зависимость пройденного телом пути от времени даётся уравнением $S = 1,73t^2$. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

Ответ: 0.5

6. С какой скоростью должен двигаться автомобиль по выпуклому мосту радиусом 50 м, чтобы в верхней точке сила давления на мост была равна нулю?

Ответ: 22 м/с

7. Тело массой 4 кг ударяется о неподвижное тело массой 2 кг. Кинетическая энергия системы двух тел непосредственно после удара стала 4,8 Дж. Считая удар центральным и абсолютно неупругим, найти кинетическую энергию первого тела до удара.

Ответ: 7.2 Дж

8. Струя воды сечением 4 см² ударяется о стенку под углом 45° и упруго отскакивает от нее без потери скорости. Найти силу, действующую на стенку, если известно, что скорость течения воды в струе 11 м/с.

Ответ: 68 Н

9. Однородный стержень длиной 1,5 м подвешен на горизонтальной оси, проходящей через его верхний конец. На какой угол надо отклонить стержень, чтобы его нижний конец при прохождении положения равновесия имел скорость 5,7 м/с?

Ответ: 75°

10. К ободу колеса (однородного диска) диаметром 1,1 м и массой 30 кг приложена касательная сила 85 Н. Найти угловое ускорение колеса. Через какое время после начала движения частота вращения достигнет 95 об/с?

Ответ: 10.3 рад/с²; 58 с

ВАРИАНТ № 3

1. Камень бросили вертикально вверх на высоту 8 м. Через какое время он упадёт на землю? На какую высоту поднимется камень, если начальную скорость увеличить вдвое?

Ответ: 2.6 с; 32 м

2. Точка движется по окружности так, что зависимость пройденного пути от времени даётся уравнением $S(t) = A - Bt + Ct^2$, где $B = 2$ м/с и $C = 1$ м/с². Найти линейную скорость точки, её тангенциальное, нормальное и полное ускорения спустя 3 секунды после начала движения. Известно, что при $t = 2$ с нормальное ускорение равнялось 0,5 м/с².

Ответ: 4 м/с; 2 м/с²; 2 м/с²; 2.8 м/с²

3. Движение двух материальных точек описывается уравнениями: $x(t) = A + Bt + Ct^2$ и $S(t) = D + Gt + Ht^2$, где: $A = 25$ м, $D = 4$ м, $B = G = 3$ м/с, $C = -4$ м/с², $H = 0,5$ м/с². В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковы? Определить скорости и ускорения точек в этот момент времени.

Ответ: 0 с; 3 м/с; 3 м/с; -8 м/с²; 1 м/с²

4. К грузу массой 7 кг подвешен на верёвке груз массой 5 кг. Масса верёвки 4 кг. Силу 190 Н приложили к верхнему грузу, направив её вертикально вверх. Найти натяжение в верхнем конце и в середине веревки.

Ответ: 107 Н; 83 Н

5. По деревянным сходням, образующим угол 30° с горизонтом, ящик втаскивают за привязанную к нему верёвку. Коэффициент трения ящика о сходни 0,25. Под каким углом к горизонту следует тянуть верёвку, чтобы с наименьшим усилием втащить ящик?

Ответ: 49.5°

6. С какой максимальной скоростью может ехать по горизонтальной плоскости мотоциклист, описывая круг радиусом 10 м, если коэффициент трения равен 0,16? На какой угол от вертикали он должен при этом отклониться?

Ответ: 3.96 м/с; 9.09°

7. Вычислить работу, совершаемую при равноускоренном подъеме груза массой 100 кг на высоту 4 м за время 2 с.

Ответ: 4.7 кДж

8. Карандаш длиной 15 см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую и линейную скорости будет иметь в конце падения: 1) середина карандаша? 2) верхний его конец? Считать, что трение настолько велико, что нижний конец карандаша не проскальзывает.

Ответ: 0.61 м/с; 1.21 м/с; 8.1 рад/с

9. Найти силу отделяющую сливки (плотность 0,93 г/см³) от молока (1,03 г/см³) в расчете на единицу объема, если отделение происходит в центробежном сепараторе, вращающемся со скоростью 6000 об/мин. Силу искать в точке на расстоянии 10 см от оси вращения.

Ответ: 100 кН/м³

10. Маховое колесо (диск), с моментом инерции $J = 212 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, вращалось с частотой 1000 об/мин. через 1,5 мин после того, как на него перестал действовать вращающий момент, оно остановилось. Найти момент сил трения и число оборотов, сделанных колесом до полной остановки.

Ответ: 750 об; 250 Н·м

ВАРИАНТ № 4

1. Диск радиусом 12 см начал вращаться с постоянным угловым ускорением 0,3 рад/с². Найти тангенциальное, нормальное и полное ускорения точек на окружности диска в конце третьей секунды после начала вращения.

Ответ: 0.036 м/с²; 0.097 м/с²; 0.104 м/с²

2. Мяч, брошенный со скоростью 7 м/с под углом 60° к горизонту, ударяется о стенку, находящуюся на расстоянии 3 м от места бросания. При подъёме или при опускании мяча он ударился о стенку? На какой высоте произойдёт удар? Найти скорость мяча в этот момент.

Ответ: 1.6 м; 4.2 м/с

3. Тело 1 движется равноускоренно, имея начальную скорость 1 м/с и ускорение 5 м/с². Одновременно с ним начало двигаться равнозамедленно тело 2, имея начальную скорость 5 м/с и ускорение 1 м/с². Че-

рез какое время после начала движения оба тела будут иметь одинаковую скорость.

Ответ: 0.67 с

4. Поезд, шедший со скоростью 10 м/с, внезапно затормозил и остановился через 30 с после начала торможения. Определить силу, с которой прижалась тормозная колодка к ободу колеса, если масса поезда 400 т, общее число тормозных колодок 180, коэффициент трения колёс о тормозную колодку 0,2.

Ответ: 3.7 кН

5. Для измерения массы космонавта на орбитальной станции используется подвижное сиденье известной массы 100 кг, прикрепленное к пружине. При одной и той же начальной деформации пружины пустое сиденье возвращается в исходное положение через 20 с, если же на сиденье находится космонавт – через 28 с. Какова масса космонавта?

Ответ: 96 кг

6. С какой угловой скоростью должен вращаться вокруг своей оси горизонтально расположенный цилиндр, чтобы мелкие частицы внутри цилиндра не соскальзывали с его поверхности? Коэффициент трения между поверхностью цилиндра и частицами равен 1, внутренний радиус цилиндра 14 см.

Ответ: 8.4 рад/с

7. Пуля, летевшая горизонтально, попала в шар, подвешенный на очень легком жестком стержне, и застряла в нем. Масса пули в 1000 раз меньше массы шара. Расстояние от точки подвеса стержня до центра шара равно 1 м. Найти скорость пули, если известно, что стержень с шаром отклонился на 10° .

Ответ: 550 м/с

8. Конькобежец весом 700 Н, стоя на коньках на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой 3 кг со скоростью 8 м/с. Найти, на какое расстояние откатится при этом конькобежец, если коэффициент трения 0,02.

Ответ: 0.3 м

9. Две гири массами 1,5 и 0,5 кг соединены нитью, перекинутой через блок (диск) массой 1 кг. Найти ускорение, с которым без трения движутся гири, и силы натяжения нитей.

Ответ: 3.9 м/с²; 6.9 Н; 8.8 Н.

10. В вагоне поезда, идущего по закруглению радиусом 200 м со скоростью 80 км/ч, производится взвешивание груза весом 50 Н. Определить показания пружинных весов.

Ответ: 51.6 Н (5.26 кг)

ВАРИАНТ № 5

1. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 4,9 м/с. Рассчитать путь, пройденный телом за 2 с.

Ответ: 12.25 м

2. Точка движется по окружности радиусом 6 см. Зависимость пути от времени даётся уравнением $S(t) = Ct^3$, где $C = 0,1$ см/с³. Найти нормальное и тангенциальное ускорения точки в момент, когда линейная скорость равнялась 0,4 м/с.

Ответ: 2.7 м/с²; 0.07 м/с²

3. Две материальные точки движутся согласно уравнениям: $x(t) = At + Bt^2 + Ct^3$ и $y(t) = Dt + Gt^2 + Ht^3$, где: $A=6$ м/с, $D=1$ м/с, $B = 7$ м/с², $G = -3$ м/с², $C = -12$ м/с³, $H=1$ м/с³. В какой момент времени ускорения этих точек будут одинаковы? Определить скорости и ускорения точек в этот момент времени.

Ответ: 0.26 с; 7.2 м/с; -0.3 м/с; -4.4 м/с²

4. На концах верёвки длиной 12 м и весом 6 кг укреплены два груза, массы которых равны 2 кг и 12 кг. Верёвка переброшена через неподвижный блок и начинает скользить по нему без трения. Какое натяжение испытывает середина верёвки в тот момент, когда длина её по одну сторону блока достигнет 8 м?

Ответ: 58.8 Н

5. Небольшое тело находится на наклонной плоскости с углом наклона 30°. Коэффициент трения между телом и плоскостью равен 0,1. С каким минимальным ускорением нужно двигать наклонную плоскость в горизонтальном направлении, чтобы тело не соскользнуло по ней? Начиная с какого значения ускорения тело начнёт подниматься по наклонной плоскости?

Ответ: 4.4 м/с²; 7.0 м/с²

6. Наибольшее значение силы трения между вращающимся диском и расположенным на нём грузом в 10 кг равно 2,5 кг. На каком максимальном расстоянии от оси вращения груз будет вращаться со скоростью 30 об/мин? Чему равна сила трения груза о диск, когда первый находится на половине найденного расстояния (от оси вращения)?

Ответ: 0.25 м; 1.25 кг

7. Человек массой 70 кг, бегущий со скоростью 10 км/ч, догоняет тележку массой 90 кг, движущуюся со скоростью 3 км/ч, и вскакивает на нее. С какой скоростью будет двигаться тележка?

Ответ: 6.06 км/ч

8. Тело скользит по наклонной плоскости ($\alpha=8^\circ$), а затем по горизонтальной поверхности. Найти коэффициент трения на всем пути, если известно, что тело проходит по горизонтальной поверхности то же расстояние, что и по наклонной плоскости.

Ответ: 0.07

9. С какой максимальной скоростью может ехать мотоциклист, описывая дугу радиусом 90 м, если коэффициент трения скольжения равен 0,4? На какой угол от вертикального направления он должен при этом отклониться?

Ответ: 19 м/с; 22°

10. Обод массой 2 кг и внешним радиусом 5 см скатывается по наклонной плоскости длиной 2 м и углом наклона 30° . Определить его момент инерции, если максимальная скорость 3,3 м/с.

Ответ: $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

ВАРИАНТ № 6

1. Колесо радиусом 8 см вращается с угловым ускорением $6,28 \text{ рад/с}^2$. Найти для точек на ободе: а) угловую скорость; б) линейную скорость; в) тангенциальное; г) нормальное; д) полное ускорения к концу первой секунды после начала движения.

Ответ: 6.3 рад/с , 0.5 м/с ; 0.5 м/с^2 ; 3.1 м/с^2 .

2. С какой высоты упало тело, если последний метр своего пути оно пролетело за $0,15 \text{ с}$?

Ответ: 2.8 м

3. Снаряд, выпущенный из орудия под углом 30° к горизонту, дважды был на одной и той же высоте h спустя 8 и 40 секунд после выстрела. Определить начальную скорость снаряда и высоту h .

Ответ: 470 м/с ; 1570 м.

4. Через сколько секунд тело, брошенное вертикально вверх со скоростью $44,8 \text{ м/с}$, упадет на Землю, если сила сопротивления воздуха не зависит от скорости и составляет в среднем $1/7$ часть силы тяжести?

Ответ: 8.6 с

5. Через неподвижный блок перекинута верёвка, за концы которой хватаются два гимнаста, массы которых 60 кг и 70 кг. Более лёгкий из них держится за конец верёвки, а второй старается подниматься вверх. При этом оказывается, что более тяжёлый гимнаст остаётся на одной высоте, а второй поднимается вверх. Через сколько времени этот гимнаст достигнет блока, если вначале он находился ниже блока на 4,9 м?

Ответ: 2.45 с

6. Какова должна быть максимальная длина выпуклого моста радиуса 100 м, чтобы автомобиль мог проходить по нему со скоростью 90 км/ч, не отрываясь от полотна дороги?

Ответ: 176 м

7. Пуля летевшая горизонтально со скоростью 400 м/с, попадает в брусок, подвешенный на нити длиной 4 м, и застревает в нем. Определить угол, на который отклонится брусок, если масса пули 20 г и масса бруска 5 кг.

Ответ: 14.6°

8. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой 60 кг. На какой угол повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя его, вернется в исходную точку на платформе? Масса платформы 240 кг. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

Ответ: 120°

9. На барабан диаметром 1,0 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 5 кг. Найти момент инерции барабана, если известно, что груз опускается с ускорением 1 м/с².

Ответ: 11 кг·м²

10. На барабан массой 8 кг намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 3 кг. Найти ускорение груза. Считать барабан однородным цилиндром, вращающимся без трения.

Ответ: 4.2 м/с²

ВАРИАНТ № 7

1. На цилиндр, который может вращаться вокруг горизонтальной оси, намотана нить. К её концу привязали грузик и предоставили ему возможность опускаться. Двигаясь равноускоренно, грузик за 4 с опустился на 1,5 м. Определить угловое ускорение цилиндра, если его диаметр 8 см.

Ответ: 4.7 рад/с²

2. Камень брошен с вышки в горизонтальном направлении с начальной скоростью 25 м/с. Определить скорость, тангенциальное и нормальное ускорения камня в конце второй секунды после начала движения.

Ответ: 31.8 м/с; 6 м/с²; 7.7 м/с²

3. Расстояние между двумя станциями метро 1,5 км. Первую половину пути поезд проходит равноускоренно, вторую – равнозамедленно с тем же по модулю ускорением. Максимальная скорость 60 км/ч. Найти ускорение и время движения между станциями.

Ответ: 0.185 м/с²; 3 мин

4. Динамометр вместе с прикрепленным к нему грузом сначала поднимают вертикально вверх, затем опускают. В обоих случаях движение происходило с положительным ускорением, равным 6 м/с^2 . Чему равна масса груза, если разность показаний динамометра оказалась равной $29,4 \text{ Н}$? Решите задачу при условии, что движение вверх и вниз происходило замедленно.

Ответ: $2,45 \text{ кг}$

5. На столе лежит деревянный брусок, к которому привязаны нити, перекинутые через блоки, укрепленные на противоположных краях стола. К свободным концам нитей подвешены грузы весом $0,85 \text{ кг}$ и $0,2 \text{ кг}$, вследствие чего брусок приходит в движение и за 3 с проходит путь $0,81 \text{ м}$. Зная, что брусок весит 2 кг , определить коэффициент трения скольжения и натяжения нитей.

Ответ: $0,3$; $8,2 \text{ Н}$; $2,0 \text{ Н}$

6. Стальной шарик диаметром 4 см катится по двум кольцевым рельсам, расположенным в горизонтальной плоскости. Радиус кольца внешнего рельса 170 см . Определите, при какой наибольшей скорости шарик не сойдет с рельс, если расстояние между ними равно 20 мм .

Ответ: $3,1 \text{ м/с}$

7. Человек стоит на скамье Жуковского и ловит рукой мяч массой 300 г , летящий в горизонтальном направлении со скоростью 24 м/с . Траектория мяча проходит на расстоянии 70 см от вертикальной оси вращения скамьи. С какой угловой скоростью начнет вращаться скамья с человеком, поймавшим мяч, если суммарный момент инерции человека и скамьи равен $5,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$?

Ответ: $0,94 \text{ рад/с}$

8. Мяч радиусом $0,12 \text{ м}$ плавает в воде так, что его центр масс находится на 10 см выше поверхности воды. Какую работу надо совершить, чтобы погрузить мяч в воду до диаметральной плоскости?

Ответ: $0,092 \text{ Дж}$

9. С какой скоростью должен въехать велосипедист в нижнюю точку мертвой петли диаметром 12 м , чтобы не сорваться вниз? Его масса с велосипедом 90 кг , масса обоих колес 6 кг . Трением пренебречь, массу колес считать сосредоточенной в ободах.

Ответ: $15,1 \text{ м/с}$

10. Для определения угловой скорости можно воспользоваться двумя грузами, шарнирно связанными с вертикальной вращающейся осью. Рассчитать угол отклонения грузов при скорости вращения 120 об/мин , если длина стержней, на которых укреплены грузы, равна $0,1 \text{ м}$.

Ответ: 52°

ВАРИАНТ № 8

1. Тело свободно падает с высоты 19,6 м. Какой путь оно пролетит за первые и последние 0,2 с своего движения?

Ответ: 0.2 м; 3.7 м

2. В первом приближении можно считать, что электрон в атоме водорода движется по круговой орбите радиуса $r = 0,05$ нм с линейной скоростью $v = 2,2$ Мм/с. Найти угловую скорость вращения электрона вокруг ядра и его нормальное ускорение.

Ответ: $4.4 \cdot 10^{16}$ рад/с; $9.7 \cdot 10^{22}$ м/с².

3. Движение точки по прямой задано уравнением $x(t) = At + Bt^2$, где $A = 3$ м/с, $B = -0,6$ м/с². Определить среднюю путевую скорость движения точки в интервале от 1 до 3 секунды.

Ответ: 0.6 м/с

4. Гиря массой 10 кг лежит на пружинных весах, установленных в лифте. Каково будет показание весов в неподвижном лифте и при движении его вверх, если известно, что лифт проходит с постоянным ускорением два одинаковых отрезка пути по 5 м каждый: первый за 8 с, второй за 4 с. Что покажут весы, если лифт будет опускаться с тем же ускорением?

Ответ: 10.1 кг; 9.9 кг

5. Небольшое тело пустили снизу вверх по наклонной плоскости, составляющей угол 15° с горизонтом. Найти коэффициент трения, если время подъёма тела оказалось в 2 раза меньше времени спуска.

Ответ: 0.16

6. Гирю весом 98 г равномерно вращают в вертикальной плоскости со скоростью 6 м/с на стержне длиной 2 м. По какому закону будет изменяться сила, действующая вдоль стержня, в зависимости от его положения? Чему будет равна эта сила в тот момент времени, когда гиря находится в верхней точке траектории? Нижней? Проходит горизонтальное положение? Чему равна сила, действующая на груз в этих точках?

Ответ: 82 г; 278 г; 180 г; 180 г

7. В байдарке массой 40 кг стоит человек массой 60 кг. Лодка плывет со скоростью 2 м/с. Человек прыгает с нее в горизонтальном направлении со скоростью 5 м/с (относительно лодки). Найти скорость движения байдарки после прыжка человека в двух случаях: 1) человек прыгает вперед по движению лодки; 2) в сторону, противоположную движению.

Ответ: -5.5 м/с; 9.5 м/с

8. На катере массой 20 т установлен водометный двигатель, выбрасывающий каждую секунду 200 кг воды со скоростью 5 м/с (относительно катера). Определить его скорость через 5 мин после начала движения. Сопротивлением воды пренебречь.

Ответ: 15 м/с

9. Маховик вращается с частотой 48 об/мин. Его кинетическая энергия 7,8 кДж. За какое время момент сил 45 Н·м, приложенный к маховику, увеличивает его угловую скорость вдвое?

Ответ: 69 с

10. Каков должен быть минимальный коэффициент трения скольжения между шинами автомобиля и асфальтом, чтобы автомобиль мог пройти закругление с радиусом 200 м при скорости 100 км/ч?

Ответ: 0.4

ВАРИАНТ № 9

1. Маховик начал вращаться равноускоренно и за 8 секунд достиг частоты вращения 240 об/мин. Определить угловое ускорение маховика и число оборотов, сделанных им.

Ответ: 3.14 рад/с²; 16 об

2. Мяч брошен со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту. На какую высоту он поднимется? На каком расстоянии от места бросания мяч упадёт на землю? Какое время он будет в полёте?

Ответ: 2.6 м; 10.2 м; 1.4 с

3. Лодка движется перпендикулярно к берегу со скоростью 7,4 км/ч. Течение относит её на 120 м вниз по реке. Найти скорость течения и время, затраченное на переправу. Ширина реки 0,6 км.

Ответ: 1.5 км/ч; 4.9 мин

4. Груз весом 10 кг привязан к концу верёвки, намотанной на лебёдку. Груз и лебёдка находятся на некоторой высоте. Груз начинает падать, причём верёвка натянута в тот момент, когда он пролетел 5 м. Вслед за этим начинает с трением раскручиваться лебёдка. Какую минимальную длину верёвки пришлось вытравить до полной остановки груза, если прочность её равна 15 кг?

Ответ: 10 м

5. Две гири разного веса перекинуты через неподвижный блок и установлены на расстоянии 2 м друг от друга. Предоставленные сами себе, грузы через 2 с после начала движения оказались на одинаковой высоте. Какова масса более лёгкой гири, если другая гиря весит 0,3 кг? Чему равно натяжение нити и сила давления на ось блока?

Ответ: 0.27 кг; 0.28 кг; 0.57 кг

6. Эстакада на пересечении улиц имеет радиус кривизны 1000 м. В верхней части эстакады в дорожное покрытие вмонтированы датчики, регистрирующие силу давления на эстакаду. Какую силу давления показывает прибор в тот момент, когда по эстакаде проезжает со скоростью 60 км/ч автомобиль массы 1 т?

Ответ: 9.5 кН

7. Шар массой 2 кг движется со скоростью 5 м/с навстречу шару массой 3 кг, движущемуся со скоростью 10 м/с. Найти величину изменения кинетической энергии системы шаров после неупругого центрального удара.

Ответ: 135 Дж

8. Маховик в виде диска массой 80 кг и радиусом 30 см находится в состоянии покоя. Какую работу нужно совершить, чтобы сообщить маховику частоту 10 с^{-1} ? Какую работу пришлось бы совершить, если бы при той же массе диск имел меньшую толщину, но вдвое больший радиус?

Ответ: 7.1, 28.4 кДж

9. Шар скатывается по наклонной плоскости длиной 7 м и углом наклона 30° . Определить скорость шара в конце наклонной плоскости. Трением пренебречь.

Ответ: 7 м/с

10. Два одинаковых груза массой 20 г подвешены к вертикальной оси на нитях длиной 50 см. Определить их кинетическую энергию, если они при вращении отклоняются на угол 30° .

Ответ: 0.28 Дж

ВАРИАНТ № 10

1. Точка движется по окружности радиусом 25 см с постоянным тангенциальным ускорением 5 см/с^2 . Через какое время после начала движения нормальное ускорение точки будет: а) равно тангенциальному; б) вдвое больше тангенциального?

Ответ: 2.2 с; 3.2 с

2. Тело падает с высоты 19,6 м. За какое время оно пролетит первый и последний метры своего пути?

Ответ: 0.45 с; 0.05 с

3. Точка движется по прямой согласно уравнению $x(t) = At + Bt^2$, где $A = 5 \text{ м/с}$, $B = -0,2 \text{ м/с}^2$. Определить среднюю путевую скорость точки в интервале от 2 до 6 секунды.

Ответ: 3.4 м/с

4. Два груза, массы которых равны 0,1 кг и 0,15 кг, связаны нитью и лежат на гладком столе. К левому грузу приложена сила 54 г, к пра-

вону, в противоположном направлении 0,3 кг. Чему равно натяжение нити? Изменится ли натяжение, если силы поменять местами?

Ответ: 0.85 Н; 2.7 Н

5. За какое время тяжёлое тело спустится с вершины наклонной плоскости высотой 2 м и углом наклона 45° , если предельный угол, при котором тело может находиться на наклонной плоскости в покое, равен 30° ?

Ответ: 1.4 с

6. Шарик массы 0,2 кг, привязанный к закреплённой одним концом нити длины 3 м, описывает в горизонтальной плоскости окружность радиусом 1 м. Найти число оборотов шарика в минуту и силу натяжения нити.

Ответ: 18 об/мин; 2.1 Н

7. Снаряд массой 10 кг обладал скоростью 200 м/с в верхней точке траектории. В этой точке он разорвался на две части. Меньшая массой 3 кг получила скорость 400 м/с направленную вперед под углом 60° к горизонту. Найти с какой скоростью и под каким углом к горизонту полетит большая часть снаряда после разрыва.

Ответ: -53.4° , 250 м/с

8. На краю горизонтального диска радиусом 3 м и массой 200 кг стоит человек массой 75 кг. Пренебрегая трением, найти, с какой угловой скоростью будет вращаться диск, если человек пойдет вдоль его края со скоростью 2,5 м/с относительно диска.

Ответ: 0.21 рад/с

9. На барабан диаметром 1,0 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 5 кг. Найти момент инерции барабана, если известно, что груз опускается с ускорением 1 м/с^2 .

Ответ: $11 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

10. Пуля массой 5 г, двигаясь со скоростью 800 м/с, ударяется о выступ покоящегося зубчатого колеса, момент инерции которого $0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Расстояние от точки попадания пули до оси вращения 30 см. Определить угловую скорость колеса, считая удар неупругим. Пуля летела в плоскости вращения колеса.

Ответ: 2.4 рад/с

ВАРИАНТ № 11

1. Первую половину времени своего движения автомобиль двигался со скоростью 80 км/ч, а вторую половину времени – со скоростью 60 км/ч. Какова средняя скорость движения автомобиля в км/ч?

Ответ: 68.6 км/ч

2. Во сколько раз нормальное ускорение точки, лежащей на ободу вращающегося колеса, больше её тангенциального ускорения в тот момент, когда вектор полного ускорения точки составляет угол 45° с вектором её линейной скорости?

Ответ: 1

3. Две прямые дороги пересекаются под углом 30° . От перекрёстка по ним удаляются две машины: одна со скоростью 60 км/ч, другая со скоростью 80 км/ч. Определить в км/ч скорости, с которыми машины удаляются друг от друга.

Ответ: 41 км/ч; 135 км/ч

4. К нити подвешен груз массой 1 кг. Найти натяжение нити, если нить с грузом: 1) поднимать с ускорением 5 м/с^2 ; 2) опускать с ускорением 3 м/с^2 .

Ответ: 14.8 Н, 6.8 Н

5. Через какое время скорость тела, которому сообщили вверх по наклонной скорость 10 м/с, снова будет равна 10 м/с? Коэффициент трения 0.2, угол между плоскостью и горизонтом 30° .

Ответ: 4.6 с

6. В цирковом аттракционе мотоциклист движется по внутренней поверхности сферы радиуса 10 м. Разогнавшись, он начинает описывать горизонтальную окружность в верхней полусфере. Определить минимальную скорость мотоциклиста, если коэффициент трения шин о поверхность сферы равен 1.0, а угол между вертикалью и направлением к мотоциклисту из центра сферы равен 60° .

Ответ: 17.8 м/с

7. Определить скорость ракеты в момент полного выгорания заряда, если начальная масса ракеты 0,1 кг, масса заряда 0,09 кг, относительная скорость выхода продуктов сгорания из сопла 25 м/с. Сопротивление воздуха и ускорение силы тяжести не учитывать.

Ответ: 57.6 м/с

8. Колесо, момент инерции которого равен $245 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, вращаясь, делает по 20 об/с. После того, как на колесо перестал действовать вращающий момент сил, оно остановилось, сделав 1000 оборотов. Найти момент сил трения.

Ответ: 310 Н·м

9. К ободу однородного диска диаметром 0,5 м приложена касательная сила 98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения 4,9 Н·м. Найти массу диска, если известно, что он вращается с угловым ускорением 90 рад/с^2 .

Ответ: 8.2 кг

10. Поставленный вертикально карандаш длиной 17 см падает на стол. Какую угловую и линейную скорости будет иметь в конце падения верхний конец карандаша?

Ответ: 13 рад/с; 2.2 м/с

ВАРИАНТ № 12

1. Точка двигалась в течение 15 с со скоростью 6 м/с, 10 секунд со скоростью 9 м/с и 6 секунд со скоростью 22 м/с. Какова средняя путевая скорость точки?

Ответ: 10 м/с

2. На горизонтальном столе протачивается вал диаметром 50 мм. Продольная подача резца равна 0,5 мм за один оборот. Какова скорость резания, если за одну минуту протачивается участок вала длиной 15 см?

Ответ: 0.79 м/с

3. Колесо вращается так, что зависимость угла поворота от времени даётся выражением $\varphi(t) = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $B = 2$ рад/с, $C = 2$ рад/с², $D = 2$ рад/с³. Найти радиус колеса, если известно, что к концу второй секунды движения нормальное ускорение точек лежащих на ободе равно $3,46 \cdot 10^2$ м/с².

Ответ: 0.3 м

4. Стальная проволока некоторого диаметра выдерживает груз весом до 4400 Н. С каким наибольшим ускорением можно поднимать груз весом 3800 Н, подвешенный на этой проволоке, чтобы она не разорвалась?

Ответ: 1.54 м/с²

5. Два тела массами 1 и 3 кг лежат на горизонтальной поверхности и связаны нитью, выдерживающей силу натяжения 400 Н. Какую минимальную силу вдоль нити нужно приложить ко второму грузу, чтобы она оборвалась?

Ответ: 1600 Н

6. На тело массой 10 кг, лежащее на горизонтальной плоскости, действует сила 100 Н под углом 35° к горизонту. Коэффициент трения 0,3. Найти ускорение тела.

Ответ: 7.0 м/с²

7. По наклонной плоскости с углом наклона к горизонту 60° с высоты 1 м соскальзывает плоское тело. Достигнув горизонтальной поверхности, тело поднимается по другой наклонной поверхности с углом наклона 30°. Определить высоту подъема, если коэффициенты трения для обеих плоскостей одинаковы и равны 0,1.

Ответ: 0.80 м

8. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 16 м/с. На какой высоте кинетическая энергия тела равна его потенциальной энергии?

Ответ: 6.5 м

9. В нижней точке мертвой петли реактивный самолет движется со скоростью 1200 км/ч. Определить какую перегрузку (отношение прижимающей силы к весу летчика) испытывает летчик, если радиус петли 0,4 км.

Ответ: 29

10. Найти кинетическую энергию диска массой 5 кг, катящегося со скоростью 8 м/с без проскальзывания.

Ответ: 240 Дж

ВАРИАНТ № 13

1. Первую половину своего пути мотоциклист двигался со скоростью 90 км/ч, а вторую половину пути - со скоростью 70 км/ч. Какова средняя скорость движения мотоциклиста?

Ответ: 79 км/ч

2. Винт аэросаней вращается с частотой 360 об/мин. Скорость поступательного движения саней 60 км/ч. С какой скоростью движется один из концов винта, если радиус винта $R=1$ м?

Ответ: 41 м/с (148 км/ч)

3. Уравнение прямолинейного движения имеет вид $x(t) = At + Bt^2$, где $A = 2$ м/с, $B = -0,5$ м/с². Чему равняется координата в момент времени $t=6$ с и пройденный путь за этот промежуток времени?

Ответ: -6 м, 10 м

4. Вес лифта с пассажирами равен 700 кг. Найти с каким ускорением и в каком направлении движется лифт, если известно, что натяжение троса, удерживающего лифт, равно: 1) 1200 кг; 2) 500 кг.

Ответ: 2.8 м/с² – вниз; +7.0 – вверх

5. На гладком столе лежит брусок массой 4 кг. К бруску привязаны два шнура, перекинутые через неподвижные блоки, прикрепленные к противоположным концам стола. К концам шнуров привешены гири, массы которых 1 кг и 2 кг, найти ускорение, с которым движется брусок, и силу натяжения каждого из шнуров.

Ответ: 1.4 м/с²; 11.2 Н; 16.8 Н

6. Мотоцикл едет по внутренней поверхности вертикального цилиндра радиусом 11,2 м. Центр тяжести мотоцикла с человеком расположен на расстоянии 0,8 м от поверхности цилиндра. Коэффициент трения по-

крышек о поверхность цилиндра равен 0,6. С какой минимальной скоростью должен ехать мотоцикл? Каков угол наклона его к плоскости горизонта?

Ответ: 13 м/с; 31°

7. В неподвижный шар ударяется боком другой шар такой же массы. Под каким углом разлетятся шары, если они абсолютно упругие и абсолютно гладкие?

Ответ: 90°

8. Пуля массой 10 г летит со скоростью 800 м/с, вращаясь около продольной оси с частотой 3000 с⁻¹. Принимая пулю за цилиндр диаметром 8 мм, определить полную кинетическую энергию пули.

Ответ: 3.2 кДж

9. К ободу колеса в виде обруча диаметром 0,4 м приложена касательная сила 98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения 4,9 Н·м. Найти массу диска, если известно, что он вращается с угловым ускорением 90 рад/с².

Ответ: 4.1 кг

10. Небольшое тело скользит с вершины сферы вниз. На какой высоте от вершины тело оторвется от поверхности сферы? Радиус сферы R . Трением пренебречь.

Ответ: $R/3$

ВАРИАНТ № 14

1. Три четверти своего пути автомобиль прошёл со скоростью 70 км/ч, остальную часть пути – со скоростью 90 км/ч. Какова средняя путевая скорость движения?

Ответ: 74 км/ч

2. Пароход идёт по реке от пункта A до пункта B со скоростью 9 км/ч, а обратно – со скоростью 17 км/ч. Найти среднюю скорость парохода и скорость течения реки.

Ответ: 11.8 км/ч; 4 км/ч

3. Колесо радиусом 8 см вращается так, что зависимость линейной скорости точек, лежащих на ободе, от времени даётся уравнением $v(t) = At + Bt^2$, где $A = 5$ см/с² и $B = 1$ см/с³. Найти угол α , составляемый вектором полного ускорения с радиусом колеса в моменты времени 1, 2, 3, 4 и 5 секунд после начала движения.

Ответ: 60°; 20°; 9°; 5°.

4. К нити подвешена гиря. Если поднимать эту гирю с ускорением 3 м/с², то натяжение нити в 2 раза меньше того натяжения, при котором

нить разрывается. С каким ускорением нужно поднимать гирию, чтобы нить оборвалась?

Ответ: 15.8 м/с^2

5. Брусok массой 5 кг может свободно скользить по горизонтальной поверхности без трения. На нём находится другой брусok массой 1 кг. Коэффициент трения соприкасающихся поверхностей брусков 0,3. Определить максимальное значение силы, приложенной к нижнему бруску, при которой начинается соскальзывание верхнего бруска.

Ответ: 17.6 Н

6. Грузик, привязанный к нити длиной 1 м, описывает окружность в горизонтальной плоскости. Определить период обращения, если нить отклонена на 60° от вертикали.

Ответ: 1.4 с

7. Камешек скользит с наивысшей точки купола, имеющего форму полусферы. Какую дугу α опишет камешек, прежде чем оторвется от поверхности купола? Трением пренебречь.

Ответ: 48°

8. На платформе, движущейся со скоростью 3 м/с, укреплено орудие, ствол которого направлен в сторону движения и составляет с горизонтом угол 60° . Орудие произвело выстрел, после чего скорость платформы уменьшилась в три раза. Найти скорость снаряда при вылете из ствола, если масса платформы с орудием больше массы снаряда в 150 раз.

Ответ: 600 м/с

9. Вал массой 50 кг и радиусом 10 см вращается с частотой 8 об/с. К цилиндрической поверхности вала прижали тормозную колодку с силой 20 Н, под действием которой вал остановился через 5 с. Определить коэффициент трения.

Ответ: 1.26

10. Человек массой 70 кг находится на неподвижной платформе в виде диска массой 110 кг. Сколько оборотов в минуту будет совершать платформа, если человек (как точечная масса) будет двигаться по окружности радиусом 6 м вокруг оси вращения? Скорость движения человека относительно платформы 4,5 км/ч; ее радиус 11 м.

Ответ: 0.55 об/мин

ВАРИАНТ № 15

1. Найти скорость относительно берега реки: а) лодки, идущей по течению; б) лодки, идущей против течения; в) лодки, идущей под углом 90° к течению, скорость которого $1,5$ м/с. Скорость лодки относительно воды равна $2,5$ м/с.

Ответ: 4; 1; 2.9 м/с

2. Первую половину пути тело двигалось со скоростью 3 м/с, вторую – со скоростью 7 м/с. Определить среднюю путевую скорость тела.

Ответ: 4.2 м/с

3. Диск радиуса $0,3$ м вращается согласно уравнению $\varphi(t) = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2$ рад, $B = -0,5$ рад/с, $C = 0,1$ рад/с³. Определить полное ускорение точек на окружности диска для момента времени $t = 8$ с.

Ответ: 105 м/с²

4. Две гири неравного веса висят на нити перекинутой через блок, причём более лёгкая гиря расположена на 2 м ниже более тяжёлой. Если предоставить гирям двигаться, то через 2 с они будут на одинаковой высоте. Определить отношение масс гирь.

Ответ: 1.23

5. Наклонная плоскость, образующая угол 25° с плоскостью горизонта, имеет длину 2 м. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за 2 с. Определить коэффициент трения тела о плоскость.

Ответ: 0.35

6. К шнуру подвешена гиря. Гирю отвели в сторону так, чтобы шнур принял горизонтальное положение, и отпустили. Как велика сила натяжения шнура в момент, когда гиря проходит положение равновесия? Какой угол с вертикалью составляет шнур в момент, когда сила натяжения шнура равна силе тяжести гири?

Ответ: $3\ mg$; 70.5°

7. Определить во сколько раз уменьшилась масса ракеты, если через некоторое время после запуска ее скорость составляет 69 м/с, а относительная скорость выхода продуктов сгорания равна 30 м/с. Сопротивление воздуха и ускорение силы тяжести не учитывать.

Ответ: 10

8. Камень брошен вверх под углом 60° к плоскости горизонта. Кинетическая энергия камня в начальный момент времени равна 20 Дж. Определить кинетическую и потенциальную энергии камня в высшей точке его траектории. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: 5 Дж; 15 Дж

9. Тело массой 6 кг подвешено на невесомой нити длиной 1 м. В тело попадает пуля массой 7.5 г и застревает в нем, нить при этом отклоняется на угол 8° . Найти скорость пули.

Ответ: 349 м/с

10. Небольшое тело соскальзывает вниз по наклонному скату, переходящему в мертвую петлю радиусом R . Трение ничтожно мало. Какова должна быть наименьшая высота ската, чтобы тело сделало полную петлю?

Ответ: $5R/2$

ВАРИАНТ № 16

1. Тело прошло первую половину пути за время 3 с, вторую – за время 9 с. Определить среднюю путевую скорость тела, если длина пути $S = 25$ м.

Ответ: 2.1 м/с

2. Диск вращается с угловым ускорением -2 рад/с². Сколько оборотов сделает диск при изменении частоты вращения от 260 об/мин до 70 об/мин? Найти время, в течение которого это произойдет.

Ответ: 55; 10 с

3. Самолёт летит относительно воздуха со скоростью 700 км/ч. Ветер дует с запада на восток со скоростью 15 м/с. С какой скоростью самолёт будет двигаться относительно Земли и под каким углом к меридиану надо держать курс, чтобы перемещение было: а) на юг; б) на север; в) на запад; г) на восток?

Ответ: 698 км/ч; 184.4° ; 698 км/ч; 355.6° ; 646 км/ч; 270° , 754 км/ч; 90°

4. Материальная точка массой 2 кг движется под действием некоторой силы согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1$ м/с², $D = -0.2$ м/с³. Найти значение этой силы в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 5$ с. В какой момент времени сила равна нулю.

Ответ: -0.8 Н; -8 Н; 1.67 с

5. На горизонтальной поверхности находится брусок массой 2 кг. Коэффициент трения бруска о поверхность равен 0.2. На бруске находится другой брусок массой 8 кг. Коэффициент трения верхнего бруска о нижний равен 0.3. К верхнему бруску приложена сила. Определить: 1) значение силы, при которой начинается совместное скольжение брусков по поверхности; 2) значение силы, при которой верхний брусок начнёт проскальзывать относительно нижнего.

Ответ: 19.6 Н; 39.2 Н

6. Автомобиль массой 5 т движется со скоростью 10 м/с по выпуклому мосту. Определить силу давления автомобиля на мост в его верхней части, если радиус кривизны моста равен 50 м.

Ответ: 40 кН

7. Определить линейную скорость центра шара, скатившегося без скольжения с наклонной плоскости высотой 1 м.

Ответ: 3.7 м/с

8. При разрыве снаряда в воздухе образуются три осколка массами 1 кг, 2 кг и 3 кг с общей кинетической энергией 2.2 кДж. Найти скорости осколков в момент разрыва, если направления скоростей составляют друг с другом углы в 120° .

Ответ: 49 м/с; 24 м/с; 16 м/с

9. Вал массой 100 кг и радиусом 5 см вращается с частотой 8 об/с. К цилиндрической поверхности вала прижали тормозную колодку с силой 40 Н, под действием которой вал остановился через 10 с. Определить коэффициент трения.

Ответ: 0.314

10. Шарик весом 6 Н подвешен на нити. В натянутом состоянии нить расположили горизонтально и отпустили шарик. Рассчитать силу натяжения нити в момент, когда нить образует угол 60° с горизонтальным направлением.

Ответ: 15 Н

ВАРИАНТ № 17

1. Самолёт летит от пункта *A* до пункта *B*, расположенного на расстоянии 400 км к востоку. Найти продолжительность полёта, если: а) ветра нет; б) ветер дует с юга на север; в) ветер дует с запада на восток. Скорость ветра 25 м/с, скорость самолёта относительно воздуха 650 км/ч.

Ответ: 0.615 ч, 0.621 ч.; 0.541 ч

2. Колесо радиусом 0,4 м вращается так, что зависимость угла поворота от времени даётся уравнением $\varphi(t) = A + Bt + Ct^3$, где $B = 3 \text{ рад/с}$ и $C = 1 \text{ рад/с}^3$. Для точек, лежащих на ободе, найти: а) угловую скорость; б) линейную скорость; в) угловое ускорение; г) тангенциальное ускорение; д) нормальное ускорение спустя 2 секунды после начала движения.

Ответ: 15 рад/с; 6 м/с; 12 рад/с²; 4.8 м/с²; 90 м/с²

3. Рядом с поездом стоит человек. Когда поезд начал двигаться с ускорением $a = 0,2 \text{ м/с}^2$, человек пошёл в том же направлении со скоростью $v = 1,5 \text{ м/с}$. Через какое время поезд догонит человека? Определить скорость поезда в этот момент и путь, пройденный человеком.

Ответ: 15 с; 3 м/с; 22.5 м

4. Какую силу нужно приложить к телу массой 1200 кг, чтобы оно из состояния покоя за 30 с прошло путь 10 м. Сила трения равна 0,05 веса тела.

Ответ: 615 Н

5. Через блок перекинута нить, к концам которой подвешены одинаковые гири массой 0,5 кг. Какой дополнительный груз нужно положить на одну из гирь, чтобы они стали двигаться с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$. Массой блока и нити пренебречь.

Ответ: 43 г

6. Горизонтально расположенный диск вращается вокруг вертикальной оси, делая 0,5 об/с. На каком расстоянии от оси вращения диска может удержаться тело, находящееся на нём при коэффициенте трения $k = 0,3$?

Ответ: меньше 0.3 м

7. С башни высотой 25 м горизонтально брошен камень со скоростью 15 м/с. Найти кинетическую и потенциальную энергии камня спустя одну секунду после начала движения. Масса камня 200 г.

Ответ: 32 Дж; 44 Дж

8. Тонкий прямой стержень длиной 1 м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Стержень отклонили на 60° от положения равновесия и отпустили. Определить линейную скорость нижнего конца стержня в момент прохождения положения равновесия.

Ответ: 3.8 м/с

9. Один грузик подвешен на нерастяжимой нити длиной L , а другой – на жестком невесомом стержне такой же длины. Какие минимальные скорости нужно сообщить этим грузикам, чтобы они вращались в вертикальной плоскости?

Ответ: $\sqrt{5gl}$; $2\sqrt{gl}$

10. Горизонтальный диск массой 90 кг и радиусом 1,5 м вращается с частотой 20 об/мин. В центре диска стоит человек, держащий в расставленных руках гири. Сколько оборотов в минуту будет совершать платформа, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от 2,95 до 0,99 $\text{кг}\cdot\text{м}^2$?

Ответ: 20.4 об/мин

ВАРИАНТ № 18

1. Движение материальной точки задано уравнением $x(t) = At + Bt^2$, где $A = 3 \text{ м/с}$, $B = -0,1 \text{ м/с}^2$. Определить момент времени, в который скорость равна нулю. Найти координату и ускорение в этот момент. Построить графики зависимости координаты, пути, скорости и ускорения от времени.

Ответ: 15 с; 22.5 м; -0.2 м/с^2

2. Колесо машины вращается равноускоренно. Сделав 60 полных оборотов, оно изменило частоту вращения от 3 до 7 об/с. Определить угловое ускорение колеса.

Ответ: 2.1 рад/с²

3. Камень брошен горизонтально со скоростью 15 м/с. Найти нормальное и тангенциальное ускорения камня через 2 секунды после начала движения.

Ответ: 5.9 м/с²; 7.8 м/с²

4. Под действием силы трения 10^5 Н вагон массой $5 \cdot 10^6$ кг после прекращения силы тяги останавливается через 1 мин. С какой скоростью вагон двигался?

Ответ: 1.2 м/с

5. Брусok массой 5 кг зажат между двумя вертикальными колодками. Силы нормального сжатия колодок 150 Н, а коэффициент трения 0,2. Какую силу нужно приложить, чтобы вытолкнуть брусok вверх? Вниз?

Ответ: 109 Н; 11 Н.

6. Автомобиль массой 1000 кг движется со скоростью 54 км/ч по выпуклому мосту. Радиус кривизны моста 200 м. С какой силой давит автомобиль на мост в высшей точке моста?

Ответ: 8.7 кН

7. Вычислить работу, совершаемую на пути 12 м равномерно возрастающей силой, если в начале пути сила 10 Н, в конце пути 46 Н.

Ответ: 340 Дж

8. Шарик массой 80 г, падая с некоторой высоты, ударяется о наклонную плоскость и отскакивает от нее без потери скорости. Угол наклона плоскости к горизонту 30° . За время удара плоскость получает импульс силы 1,6 Н·с. Какое время пройдет с момента удара шарика до момента, когда он будет находиться в наивысшей точке траектории?

Ответ: 1.2 с

9. Однородный диск диаметром 50 см и массой 6 кг без трения вращается вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно к его плоскости. Зависимость угловой скорости вращения диска от времени дается уравнением $\omega = A + Bt$, где $B = 6$ рад/с². Найти касательную силу, приложенную к ободу диска.

Ответ: 4.5 Н

10. Диск катится в течение 3 с и останавливается, пройдя 10 м. Определить коэффициент трения качения, если радиус диска 0,1 м.

Ответ: 1.1 см

ВАРИАНТ № 19

1. Камень брошен горизонтально со скоростью 10 м/с. Найти радиус кривизны траектории камня через время $t = 4$ с после начала полёта.

Ответ: 680 м

2. Проектор установлен на расстоянии 80 м от стены и бросает пятно на эту стену. Он вращается вокруг вертикальной оси, делая оборот за 30 секунд. Найти: а) уравнение движения пятна по стене в течение первой четверти оборота; б) скорость, с которой пятно движется по стене в момент $t = 3$ с. За начало отсчёта принять момент, когда направление луча перпендикулярно стене.

Ответ: 26 м/с

3. Велосипедное колесо вращается с частотой 6 об/с. Под действием сил трения оно остановилось через 1,5 минуты. Определить угловое ускорение колеса и число оборотов, которое оно сделает до остановки.

Ответ: 0.42 рад/с²; 270

4. Уравнение движения тела $x = 5 \sin(\pi t)$. Найти силу, действующую на тело массой 5 кг, через 2 с после начала движения.

Ответ: 0 Н

5. Найти силу тяги, развиваемую мотором лебёдки, втаскивающей вверх по наклонной плоскости груз с ускорением 2 м/с². Угол наклона плоскости к горизонту 30°. Масса груза 10³ кг, коэффициент трения 0,1.

Ответ: 7.7 кН

6. Лётчик давит на сиденье самолёта в нижней точке петли Нестерова с силой 7200 Н. Масса лётчика 80 кг, радиус петли 250 м. Определить скорость самолёта.

Ответ: 140 м/с

7. Нейтрон (массой m) ударяется о неподвижное ядро атома углерода (массой 12 m). Считая удар центральным и упругим, найти во сколько раз уменьшится кинетическая энергия нейтрона.

Ответ: 1.4

8. С горы высотой 2 м и основанием 5 м съезжают санки, которые останавливаются, пройдя 35 м от основания горы. Найти коэффициент трения.

Ответ: 0.05

9. Автомобиль движется со скоростью 69 км/ч. Сколько оборотов в секунду делают его колеса, если они катятся по шоссе без скольжения, а внешний диаметр покрышек колес равен 60 см?

Ответ: 10 с⁻¹

10. Груз находится на краю круглой горизонтальной платформы диаметром 8 м. Сколько оборотов в минуту должна делать платформа чтобы груз соскользнул с нее при коэффициенте трения 0,27?

Ответ: 7.8 /мин

ВАРИАНТ № 20

1. Маховик начал вращаться равноускоренно и за 8 секунд достиг частоты вращения 240 об/мин. Определить угловое ускорение маховика и число оборотов, сделанных им.

Ответ: 3.14 рад/с², 16 об.

2. Мяч брошен со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту. На какую высоту он поднимется? На каком расстоянии от места бросания мяч упадёт на землю? Какое время он будет в полёте?

Ответ: 2.5 м; 10.2 м; 1.4 с.

3. Лодка движется перпендикулярно к берегу со скоростью 7,4 км/ч. Течение относит её на 120 м вниз по реке. Найти скорость течения и время, затраченное на переправу. Ширина реки 0,6 км.

Ответ: 1.5 км/ч; (0.42 м/с); 290 с.

4. Автомобиль, трогаясь с места, движется с постоянным ускорением 0,3 м/с². Через 12 с мотор выключается, и автомобиль движется по инерции до остановки. На всём пути движения действует сила трения с коэффициентом 0,2. Определить наибольшую скорость движения автомобиля за время движения, расстояние, пройденное автомобилем за всё время движения.

Ответ: 3.6 м/с; 25 м.

5. Через блок перекинута нить, к концам которой привязаны одинаковые гири массой по 0,5 кг. Какой дополнительный груз нужно положить на одну из гирь, чтобы они стали двигаться с ускорением 0,2 м/с²? Массой блока и нити пренебречь.

Ответ: 21 г

6. Груз описывает окружность в горизонтальной плоскости. При этом шнур длиной 0,5 м, на котором подвешен груз, описывает боковую поверхность конуса и образует с вертикалью угол 60°. Определить линейную скорость вращения груза.

Ответ: 2.7 м/с

7. Определить величину кинетической энергии тела массой 1 кг, брошенного горизонтально со скоростью 20 м/с, в конце четвертой секунды его движения.

Ответ: 968 Дж

8. Конькобежец, разогнавшись до скорости 27 км/ч, хочет въехать на ледяную гору. На какую высоту от начального уровня он въедет с разгона, если подъем горы составляет 0,5 м на каждые 10 м по горизонтали, а коэффициент трения коньков о лед 0,02?

Ответ: 2.1

9. Шарик массой m подвешен на нерастяжимой нити. На какой минимальный угол надо отклонить шарик, чтобы при дальнейшем движении нить оборвалась, если ее максимально возможное натяжение $1,5 mg$?

Ответ: 41.4°

10. Поезд движется со скоростью 50 км/ч по закруглению. Шарик подвешенный на нити в вагоне отклоняется на угол 5° . Определить радиус закругления.

Ответ: 225 м

4.2.2. Решение типового варианта и образец оформления индивидуального задания № 1

Задача № 1

Движение материальной точки задано уравнением $\vec{r}(t) = A(\vec{i} \cos(\omega t) + \vec{j} \sin(\omega t))$, здесь $A = 0.5 \text{ м}$, $\omega = 5 \text{ рад/с}$.

Начертить траекторию точки. Определить модуль скорости $|\vec{v}|$ и модуль нормального ускорения $|\vec{a}_n|$.

Дано:

$$\vec{r}(t) = A(\vec{i} \cos(\omega t) + \vec{j} \sin(\omega t))$$

$$A = 0.5 \text{ м}$$

$$\omega = 5 \text{ рад/с}$$

Найти:

$$y = y(x)$$

$$|\vec{v}| = ?$$

$$|\vec{a}_n| = ?$$

Решение: Движение материальной точки

в плоскости (x, y) в общем случае можно

записать в виде: $\vec{r}(t) = x\vec{i} + y\vec{j}$, следова-

тельно, сравнивая с уравнением

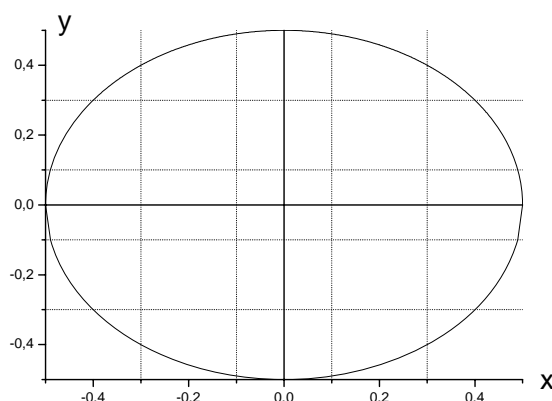
$$\vec{r}(t) = A(\vec{i} \cos(\omega t) + \vec{j} \sin(\omega t))$$

можно сделать вывод, что

$x = A \cos \omega t$, $y = A \sin \omega t$. Уравнение ок-

ружности можно найти, исключив t из выражений для x и y .

Оно имеет вид: $x^2 + y^2 = A^2$. Это уравнение окружности. На рисунке представлена траектория движения материальной точки.



Определим скорость движения материальной точки. Известно, что $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$. Продифференцируем наше уравнение, получим $\vec{v} = A\omega(\vec{i} \sin \omega t - \vec{j} \cos \omega t)$. Из полученного выражения можем записать чему равна проекция скорости вдоль оси ox и вдоль оси oy : $v_x = A\omega \sin \omega t$, $v_y = -A\omega \cos \omega t$. Модуль скорости определяется из выражения:

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (1)$$

Подставив значения проекции скорости в (1), найдем значение модуля скорости:

$$|\vec{v}| = A\omega \sqrt{\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t}$$

$$|\vec{v}| = 2.5 \text{ (м/с)}$$

Модуль нормального ускорения определяется выражением (2):

$$|\vec{a}_n| = \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

В качестве радиуса кривизны берется радиус окружности, вдоль которой движется материальная точка. Этот радиус находится из уравнения движения материальной точки, $R = A$. Подставляя значения скорости и радиуса кривизны в уравнение (2), находим величину нормального ускорения.

$$|\vec{a}_n| = \frac{2.5^2}{0.5} = 12.5 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

Ответ: $|\vec{v}| = 2.5 \text{ м/с}$; $|\vec{a}_n| = 12.5 \text{ м/с}^2$.

Задача 2. Автомобиль проехал первый участок пути в 290 км за 4 часа, затем второй участок – 150 км за 3 часа и третий участок – 110 км за 1,5 часа. Какова средняя путевая скорость автомобиля?

Дано:

$$t_1 = 4 \text{ ч}$$

$$s_1 = 290 \text{ км}$$

$$t_2 = 3 \text{ ч}$$

$$s_2 = 150 \text{ км}$$

$$t_3 = 1,5 \text{ ч}$$

$$s_3 = 110 \text{ км}$$

Найти:

$$v_{\text{ср}} = ?$$

Решение:

Средняя путевая скорость автомобиля определяется

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Так как весь путь состоит из трех участков, пройденных за разные промежутки времени, следовательно, уравнение (1) можно переписать в виде

$$v_{\text{ср}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3} \quad (2)$$

Если оставить путь s оставить в километрах, а время t в часах, то размерность скорости получим в км/ч. Подставим численные значения:

$$v_{\text{ср}} = \frac{290 + 150 + 110}{4 + 3 + 1,5} = 64,7 (\text{км/ч})$$

$$\text{Ответ: } v_{\text{ср}} = 64,7 (\text{км/ч}).$$

Задача 3. Точка лежит на ободу вращающегося колеса. Во сколько раз нормальное ускорение больше ее тангенциального ускорения в момент, когда вектор полного ускорения точки составит угол в 30° с вектором ее линейной скорости?

Дано:

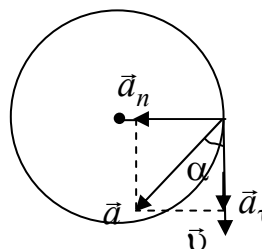
$$\alpha = 30^\circ$$

Найти:

$$\frac{a_n}{a_\tau} = ?$$

$$a_\tau$$

Решение:



Исходя из рисунка, видно, что отношение нормального ускорения к тан-

генциальному $\frac{a_n}{a_\tau}$ будет равно тангенсу этого угла. Следовательно, получим следующее выражение:

$$\frac{a_n}{a_\tau} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$\frac{a_n}{a_\tau} = \frac{\sqrt{3}}{3} \approx 0,58$$

Ответ: $\frac{a_n}{a_\tau} = 0,58$.

Задача 4. Колесо автомашины вращается равноускоренно. Сделав $N = 50$ полных оборотов, оно изменило частоту вращения от $n_1 = 4 \text{ с}^{-1}$ до $n_2 = 6 \text{ с}^{-1}$. Определите угловое ускорение ε колеса.

Дано:

$$N = 50$$

$$n_1 = 4 \text{ с}^{-1}$$

$$n_2 = 6 \text{ с}^{-1}$$

Найти:

$$\varepsilon = ?$$

Решение:

При равноускоренном вращении колеса кинематическое уравнение движения можно записать в виде:

$$\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon}.$$

Выразим отсюда угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varphi}, \text{ где } \varphi = 2\pi N.$$

Угловую скорость найдем через частоту вращения $\omega = 2\pi n$.

Тогда формула для углового ускорения примет следующий вид:

$$\varepsilon = \frac{(2\pi n)^2 - (2\pi n_0)^2}{2\pi N} = \frac{\pi(n^2 - n_0^2)}{N}$$

И окончательно,

$$\varepsilon = \frac{3,14(6^2 - 4^2)}{50} \approx 1,26 \text{ (рад/с}^2\text{)}$$

Ответ: $\varepsilon \approx 1,26 \text{ (рад/с}^2\text{)}$

Задача 5. По наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 30° , движется тело массой 5 кг . К этому телу с помощью нерастяжимой нити, перекинутой через блок, привязано тело такой же массы, движущееся вертикально вниз. Коэффициент скольжения между телом и на-

клонной плоскостью $0,05$. Определите ускорение тел и силу натяжения нити.

Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$m_1 = m_2 = 5 \text{ кг}$$

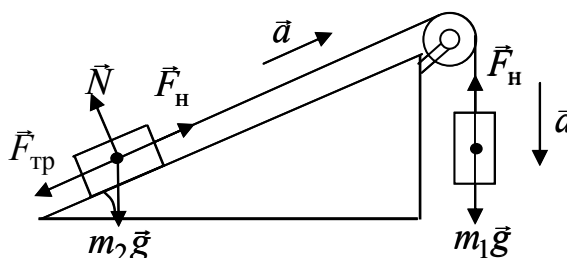
$$\mu = 0,05$$

Найти:

$$a = ?$$

$$F_H = ?$$

Решение:



Покажем на рисунке силы, действующие на каждое тело.

Запишем для каждого из тел уравнение движения (второй закон Ньютона) в векторной форме:

$$\begin{cases} m_1 \vec{g} + \vec{F}_H = m_1 \vec{a} \\ m_2 \vec{g} + \vec{F}_H + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m_2 \vec{a} \end{cases}$$

Затем в проекциях на выбранные оси координат:

$$\begin{cases} m_1 g - F_H = m_1 a & (\text{на ось } z) \\ m_2 g \sin \alpha - F_H + F_{\text{тр}} = -m_2 a & (\text{на ось } x). \\ N - m_2 g \cos \alpha = 0 & (\text{на ось } y) \end{cases}$$

Учитывая, что $F_{\text{тр}} = \mu N$, где $N = m_2 g \cos \alpha$, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} m_1 g - F_H = m_1 a \\ m_2 g \sin \alpha - F_H + \mu m_2 g \cos \alpha = -m_2 a \end{cases}$$

Вычтем из первого уравнения второе:

$$m_1 g - m_2 g \sin \alpha - \mu m_2 g \cos \alpha = m_1 a + m_2 a.$$

Искомое ускорение равно:

$$a = \frac{g(m_1 - m_2 \sin \alpha - \mu m_2 \cos \alpha)}{m_1 + m_2}.$$

Вычислим a :

$$a = \frac{9,8(5 - 5 \cdot \sin 30 - 0,05 \cdot 5 \cdot \cos 30)}{5 + 5} = 2,28 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right).$$

Силу натяжения найдем из первого уравнения системы:

$$F_H = m_1 g - m_1 a = 5 \cdot 9,8 - 5 \cdot 2,28 = 38,6 \text{ (Н)}.$$

Ответ: $a = 2,28 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right)$; $F_H = 38,6 \text{ Н}$

Задача 6. На конце стержня длиной $l = 30 \text{ см}$ укреплен шар радиусом $R = 6 \text{ см}$. Где находится центр масс этой системы относительно свободного конца, если масса стержня вдвое меньше массы шара? Результат представьте в сантиметрах.

Дано:

$$l = 30 \text{ см}$$

$$R = 6 \text{ см}$$

$$m_{\text{ш}} = 2m_{\text{ст}}$$

Найдите:

Найти:

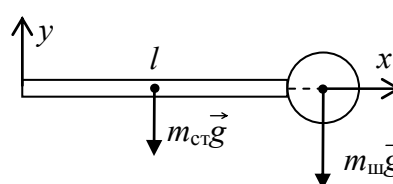
$$x_c = ?$$

СИ

$$0,3 \text{ м}$$

$$0,06 \text{ м}$$

Решение:



Центр тяжести системы можно определить из

следующего соотношения:

$$x_c = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

или данной задачи

$$x_c = \frac{m_{\text{ст}} \cdot \frac{l}{2} + m_{\text{ш}}(l + R)}{m_{\text{ст}} + m_{\text{ш}}}.$$

В полученной формуле размерность массы

сокращается, следовательно, ответ получим в единицах l . Подставляя численные значения, получим:

$$x_c = \frac{\frac{30}{2} + 2(30 + 6)}{1 + 2} = 29 \text{ (см)}.$$

Ответ: $x_c = 29 \text{ см}$

Задача 7. Частица массой $m_1 = 10^{-25}$ кг обладает импульсом $p_1 = 5 \cdot 10^{-20}$ кг·м/с. Определите, какой максимальный импульс p_2 может передать эта частица, сталкиваясь упруго с частицей массой $m_2 = 4 \cdot 10^{-25}$ кг, которая до соударения покоилась.

Дано:

$$m_1 = 10^{-25} \text{ кг}$$

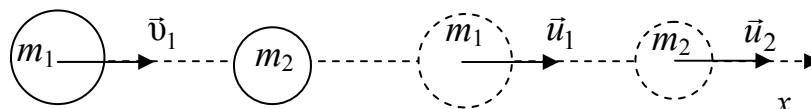
$$p_1 = 5 \cdot 10^{-20} \text{ кг·м/с}$$

$$m_2 = 4 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$$

Найти:

$$p_2 = ?$$

Решение:



Так как по условию задачи удар упругий, то выполняются и закон сохранения импульса, и закон сохранения механической энергии. Для решения задачи запишем оба закона сохранения.

Закон сохранения механической энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}, \quad (1)$$

Закон сохранения импульса

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

в проекции на ось x :

$$m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 u_2. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), найдем скорость u_2 , которую приобретает вторая частица.

Преобразуем уравнения (1) и (2) к следующему виду:

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

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

Решая данную систему уравнений, получим:

$$v_1 + u_1 = u_2.$$

Помножим данное выражение на массу m_1 :

$$m_1 v_1 + m_1 u_1 = m_1 u_2,$$

или

$$m_1 v_1 = -m_1 u_1 + m_1 u_2 \quad (3)$$

Складывая уравнения (2) и (3), получим:

$$2 m_1 v_1 = (m_1 + m_2) u_2.$$

Отсюда,

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

Тогда импульс p_2 , приобретаемый второй частицей определим как:

$$p_2 = m_2 u_2 = m_2 \cdot \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} = \frac{2m_2}{m_1 + m_2} p_1.$$

Рассчитаем импульс p_2 .

$$p_2 = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-25}}{10^{-25} + 4 \cdot 10^{-25}} \cdot 5 \cdot 10^{-20} = 8 \cdot 10^{-20} \text{ (кг·м/с)}$$

Ответ: $p_2 = 8 \cdot 10^{-20} \text{ кг·м/с}$

Задача 8. Найдите линейные ускорения движения центров тяжести шара и диска, скатывающихся без скольжения с наклонной плоскости. Угол наклона плоскости равен 30° . Начальная скорость тел равна нулю.

Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$v_0 = 0$$

Найти:

$$a_{\text{ш}} = ?$$

$$a_{\text{д}} = ?$$

Решение:

При скатывании тела с наклонной плоскости высотой h его потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию поступательного и вращательного движения. По закону сохранения энергии:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{к. п}} + E_{\text{к. вр}}, \quad (1)$$

Здесь

$$E_{\text{п}} = mgh, \quad E_{\text{к. п}} = \frac{mv^2}{2}, \quad E_{\text{к. вр.}} = \frac{I\omega^2}{2}.$$

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \quad (2)$$

где I – момент инерции тела, m – его масса. Длина наклонной плоскости l связана с высотой соотношением:

$$h = l \sin \alpha. \quad (3)$$

Линейная скорость связана с угловой следующим соотношением:

$$\omega = \frac{v}{R}. \quad (4)$$

После подстановки (3) и (4) в (2), получим:

$$mgl\sin\alpha = \frac{v^2}{2} \left(m + \frac{I}{R^2} \right). \quad (5)$$

Так как движение происходит под действием постоянной силы (силы тяжести), то движение тел будет равноускоренным. Поэтому, скатываясь с наклонной плоскости шар и диск проходят расстояние, равное длине l плоскости с начальной нулевой скоростью:

$$l = \frac{at^2}{2} \quad (6)$$

и скорость v в конце спуска

$$v = at \quad (7)$$

Решая совместно (5), (6) и (7), получим:

$$a = \frac{mgsin\alpha}{m + \frac{I}{R^2}} \quad (8)$$

Известно, что моменты инерции для шара:

$$I = \frac{2}{5}mR^2$$

для диска:

$$I = \frac{1}{2}mR^2$$

Подставляя выражение для момента инерции в формулу (8), получим для шара ускорение:

$$a_{\text{ш}} = \frac{mgsin\alpha}{m + \frac{2}{5} \frac{mR^2}{R^2}} = \frac{5}{7}gsin\alpha = \frac{5}{7} \cdot 9,8sin30 = 3,5 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$$

Тогда ускорение для диска:

$$a_{\text{д}} = \frac{mgsin\alpha}{m + \frac{1}{2} \frac{mR^2}{R^2}} = \frac{2}{3}gsin\alpha = \frac{2}{3} \cdot 9,8sin30 = 3,27 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$$

$$\text{Ответ: } a_{\text{ш}} = 3,5 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right); a_{\text{д}} = 3,27 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$$

Задача 9. Маховик в виде диска массой $m = 500$ кг и радиусом $R = 20$ см раскручен до угловой скорости $\omega = 480$ об/мин и затем предоставлен самому себе. Под влиянием сил трения маховик остановился, сделав до полной остановки $N = 200$ об. Найдите момент силы трения.

Дано:

$$m = 500 \text{ кг}$$

$$R = 20 \text{ см}$$

$$\omega = 480 \text{ об/мин}$$

$$N = 200 \text{ об.}$$

Найти:

$$M_{\text{тр}} = ?$$

СИ

$$0,2 \text{ м}$$

$$8 \text{ об/с}$$

Решение:

Как это следует из теории, работа, совершаемая диском до остановки, равна изменению его кинетической энергии:

$$A = \frac{I\omega_2^2}{2} - \frac{I\omega_1^2}{2}.$$

Поскольку $\omega_2 = 0$, то

$$A = -\frac{I\omega_1^2}{2}. \quad (1)$$

Кроме того, работа при вращательном движении определяется по формуле:

$$A = M \cdot \varphi, \quad (2)$$

Здесь M – вращающий момент, φ – угол поворота диска. Приравняв (1) и (2), получим:

$$M\varphi = -\frac{I\omega_1^2}{2}. \quad (3)$$

Момент инерции диска определяем из таблицы

$$I = \frac{mr^2}{2}.$$

Подставим это выражение в уравнение (3)

$$M\varphi = -\frac{mr^2\omega_1^2}{4}.$$

Отсюда выразим момент силы трения

$$M = -\frac{mr^2\omega_1^2}{4\varphi}. \quad (4)$$

Рассчитаем угол поворота в радианах

$$\varphi = 2\pi N = 2 \cdot 3,14 \cdot 200 = 1256 \text{ рад.}$$

Выразим угловую скорость в радианах в секунду

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 480}{30} = 50,2 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right).$$

Подставив численные значения в уравнение (4), найдем

$$M = -\frac{50 \cdot (0,2)^2 \cdot (50,2)^2}{4 \cdot 1256} = -1 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Знак «минус» в данном выражении показывает, что момент силы трения оказывает тормозящее действие, т.е. направлен в противоположную сторону моменту вращения.

Ответ: $M_{\text{тр}} = -1 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$

Задача 10. Шарик массой $m = 100$ г, привязанный к концу нити длиной $l_1 = 1$ м, вращается, опираясь на горизонтальную плоскость, с частотой $n_1 = 1 \text{ с}^{-1}$. Нить укорачивается и шарик приближается к оси вращения до расстояния $l_2 = 0,5$ м. С какой частотой n_2 будет при этом вращаться шарик? Какую работу A совершит внешняя сила, укорачивая нить? Трением шарика о плоскость пренебречь.

Дано:
 $m = 100$ г
 $l_1 = 1$ м
 $n_1 = 1 \text{ с}^{-1}$
 $l_2 = 0,5$ м

СИ
0,1 кг

Решение:

Запишем закон сохранения момента импульса:

$$L_1 = L_2. \quad (1)$$

Т.к. момент импульса $L = I\omega$, где $\omega = 2\pi n$ и $I = ml^2$, то (1) можно записать

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2. \quad (2)$$

Подставляя в выражение (2) ω и I , получим

$$ml_1^2 \cdot 2\pi n_1 = ml_2^2 \cdot 2\pi n_2.$$

Из этого уравнения получим n_2 :

$$n_2 = \frac{ml_1^2 \cdot 2\pi n_1}{ml_2^2 \cdot 2\pi} = n_1 \cdot \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^2 = 1 \cdot \left(\frac{1}{0,5}\right)^2 = 4 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Работу можно рассчитать как изменение кинетической энергии

$$A = T_2 - T_1, \text{ где } T = \frac{I\omega^2}{2}.$$

Тогда уравнение работы переписывается в виде:

$$\begin{aligned} A &= \frac{I_2\omega_2^2}{2} - \frac{I_1\omega_1^2}{2} = \frac{ml_2(2\pi n_2)^2}{2} - \frac{ml_1(2\pi n_1)^2}{2} = \\ &= 2\pi^2 m(l_2 n_2^2 - l_1 n_1^2). \end{aligned}$$

Подставим численные значения:

$$A = 2 \cdot 3,14^2 \cdot 0,1 \cdot (0,5^2 \cdot 4^2 1 - 1 \cdot 1^2) \approx 5,92 \text{ (Дж)}.$$

Ответ: $n_2 = 4 \text{ с}^{-1}$; $A = 5,92 \text{ Дж}$.

4.2.3. Индивидуальное задание № 2

ВАРИАНТ № 1

1. Каково среднее время жизни потока π^+ мезонов движущихся со скоростью $\beta = 0,73$? Собственное среднее время жизни $\tau_0 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$.
Ответ: $3,6 \cdot 10^{-8} \text{ с}$
2. Какую скорость имеет α -частица с энергией 100 МэВ?
Ответ: 0,22 с
3. Давление внутри плотно закупоренной бутылки при температуре 7°C было равно 1 атм. При нагревании бутылки пробка вылетела. До какой температуры нагрели бутылку, если пробка вылетела при давлении в бутылке 1,3 атм?
Ответ: 364 К
4. Определить среднее значение полной кинетической энергии молекулы кислорода при температуре 400 К.
Ответ: $1,38 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$
5. При изобарическом сжатии азота была совершена работа, равная 12 кДж. Определить затраченное количество теплоты и изменение внутренней энергии газа.
Ответ: $-42; -30 \text{ кДж}$
6. При изотермическом расширении водорода массой $m = 1 \text{ г}$, имевшего температуру $T = 280 \text{ К}$, объем газа увеличился в 3 раза. Определить работу расширения газа.
Ответ: 1,3 кДж
7. 1 кг воздуха совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Начальный объем газа 80 дм^3 , давление меняется от 1,2 до 1,4 МПа. Температура $t_3 = 150^\circ \text{C}$. Определить КПД цикла.
Ответ: 2,2 %
8. 1 кмоль гелия, изобарически расширяясь, увеличил объем в 4 раза. Найти изменение энтропии при этом расширении.
Ответ: 29 кДж/К

ВАРИАНТ № 2

1. До какой энергии можно ускорить электроны в циклотроне, если относительное увеличение массы электрона не должно превышать 5 %?
Ответ дать в эВ.

Ответ: 25.6 кэВ

2. Собственное время жизни некоторой нестабильной частицы 5нс. Найти путь, который пройдет эта частица до распада в лабораторной системе отсчета, где ее время жизни 10 нс.

Ответ: 2,6 м

3. Определить наименьший объем баллона, вмещающего 6,4 кг кислорода, если его стенки при температур 20 °С выдерживают давление 160 Н/см².

Ответ: 0.3 м³

4. Определить среднее значение полной кинетической энергии молекулы водорода при температуре 400 К.

Ответ: $1.38 \cdot 10^{-20}$ Дж

5. Определить работу расширения 7 кг водорода при постоянном давлении и количество теплоты, переданное водороду, если в процессе нагревания температура газа повысилась на 200 °С.

Ответ: 5.5, 20 МДж

6. На сколько больше теплоты нужно сообщить 12 кг кислорода (O₂), чтобы нагреть его от 20 до 70 °С при постоянном давлении, чем для нагрева этой же массы кислорода при постоянном объеме?

Ответ: 156 кДж

7. Идеальный двухатомный газ совершает цикл Карно. Объемы в начале и в конце адиабатического расширения равны соответственно 12 и 16 л. Определить КПД цикла.

Ответ: 10.9 %

8. Кусок льда массой 200 г, взятый при температуре –10 °С, был нагрет до температуры 0 °С и расплавлен, после чего образовавшаяся вода нагрета до 10 °С. Определить изменение энтропии. Теплоемкость льда 2 кДж/кг, теплоемкость воды 4.2 кДж/кг, удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг.

Ответ: 290 Дж/К

ВАРИАНТ № 3

1. При какой относительной скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25 %?

Ответ: 0.66 с

2. Синхрофазотрон дает пучок протонов с кинетической энергией в 10000 МэВ. Какую долю скорости света составляет скорость протонов в этом пучке?

Ответ: 99,6 %

3. В баллон находятся 10 кг газа при давлении 10 МПа. Найти какую массу газа взяли из баллона, если давление в баллоне стало 2,3 МПа. Температура газа не изменилась.

Ответ: –7.7кг

4. Определить среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекулы азота, находящегося при температуре 1 кК.

Ответ: $1.38 \cdot 10^{-20}$ Дж

5. Работа, совершаемая 1 молем водорода равна 15 Дж. Какое количество теплоты было подведено к газу, если газ расширялся изотермически?

Ответ: 15 Дж

6. Каковы удельные теплоемкости C_p и C_v смеси газов, содержащей кислород массой 10 г и азот массой 20 г?

Ответ: 711, 996 Дж/кг·К

7. Наименьший объем газа, совершающего цикл Карно, равен 153 л. Определить наибольший объем, если объем в конце изотермического расширения равен 600 л, а в конце изотермического сжатия 189 л.

Ответ: 741 л

8. Смешали воду массой 2 кг при температуре 280 К с водой массой 8 кг при температуре 320 К. Найти температуру смеси и изменение энтропии.

Ответ: 312 К; 146 Дж/К

ВАРИАНТ № 4

1. Мезон, входящий в состав космических лучей, движется со скоростью, составляющей 95 % скорости света. Какой промежуток времени по часам земного наблюдателя соответствует одной секунде собственного времени мезона?

Ответ: 3,2 с

2. На сколько увеличивается масса α -частицы при ускорении ее от начальной скорости, равной нулю, до скорости, равной 0,9 скорости света?

Ответ: $1.27m_0$, $8,6 \cdot 10^{-27}$ кг

3. В запаянном сосуде находится вода, занимающая объем, равный половине сосуда. Найти давление и плотность паров при температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, если вся вода превратилась в пар.
Ответ: 155 МПа, 500 кг/м^3
4. Определить кинетическую энергию молекулы азота, приходящуюся на одну степень свободы при температуре 1 кК.
Ответ: $6.9 \cdot 10^{-27}$ Дж
5. При нормальных условиях 2-х атомный газ имеет удельный объем, равный $0,348\text{ м}^3/\text{кг}$. Определить, чему равны удельные теплоемкости C_p и C_v .
Ответ: 320; 450 Дж/кг К
6. Одноатомный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя в 8 раз больше температуры холодильника. Какую часть тепла, полученного от нагревателя, газ передает холодильнику?
Ответ: 1/8
7. 2-х атомный идеальный газ при давлении 0,1 МПа и температуре 300 К нагревают при постоянном объеме до давления 0,2 МПа. После этого газ изотермически расширился до первоначального давления и затем изобарически сжат до начального объема. Определить температуру газа для характерных точек цикла и КПД цикла.
Ответ: 600К; 0.099
8. Водород массой 100 г нагрет изобарически так, что его объем увеличился в 3 раза, затем водород изохорически охлажден так, что давление его уменьшилось в 3 раза. Найти изменение энтропии.
Ответ: 456 Дж/К

ВАРИАНТ № 5

1. Две ракеты с собственными длинами 30 м и 40 м движутся на встречу друг другу с относительной скоростью 0.6 с. В хвостах и носках обеих ракет находятся попарно синхронизированные часы. В момент, когда поравнялись носы ракет, носовые часы выключились. В момент, когда поравнялись хвосты ракет, выключились хвостовые часы. Сколько времени занял процесс встречи по часам первой и второй ракет?
Ответ: 344 нс; 356 нс
2. Определить релятивистский импульс и кинетическую энергию электрона, движущегося со скоростью $v = 0,9\text{ с}$, с – скорость света.
Ответ: $5,6 \cdot 10^{-22}$ кг·м/с 0,66 МэВ

3. Какое количество киломолей газа находится в баллоне объемом 10 м^3 при давлении 720 мм рт. ст. и температуре 17°C ?

Ответ: 390 моль

4. Определить среднее значение кинетической энергии молекулы азота при температуре 1 К .

Ответ: $3.5 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$

5. Одноатомный газ занимает объем 4 м^3 и находится под давлением $8 \cdot 10^5 \text{ Па}$. После изотермического расширения этого газа установилось давление 1 атм . Определить работу, совершенную газом в процессе расширения; какое количество теплоты было поглощено газом в процессе расширения; на сколько при этом изменилась внутренняя энергия газа.

Ответ: 6.65; 6.65 МДж; 0

6. Некоторый газ при нормальных условиях имеет плотность $0,0894 \text{ кг/м}^3$. Определить его удельные теплоемкости C_p и C_v , а также какой это газ.

Ответ: H_2 ; 10.4; 14.5 Дж/кг·К

7. Идеальный газ совершает цикл Карно. $2/3$ количества теплоты, полученной от нагревателя, передается холодильнику. Температура холодильника 320 К . Определить температуру нагревателя.

Ответ: 480 К

8. Лед массой 2 кг при температуре 0°C был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру 100°C . Определить массу израсходованного пара и изменение его энтропии.

Ответ: -1.83 кДж/К

ВАРИАНТ № 6

1. Каково среднее время жизни потока π^+ -мезонов, движущихся со скоростью $v = 0,73 \text{ с}$, если собственное среднее время жизни $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$? Какое расстояние проходит мезон за среднее время его жизни?

Ответ: $3,6 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; 800 см

2. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти μ -мезон (мюон), чтобы его продольный размер стал в два раза меньше поперечного?

Ответ: 106 МВ

3. Баллон емкостью 5 л содержит смесь гелия и водорода при давлении 600 кПа . Масса смеси равна 4 г , массовая доля гелия равна $0,6$. Определить температуру смеси.

Ответ: 258 К

4. Определить энергию вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 7 °С.

Ответ: 83 кДж

5. При постоянном давлении 12 м³ водяных паров были нагреты от температуры 127 °С до 227 °С. Начальное давление водяных паров $1,2 \cdot 10^5$ Па. Определить количество теплоты, необходимое для нагревания, если $C_p = 33700$ Дж/кмоль К.

Ответ: 1.46 МДж

6. Азот массой 200 г расширяется изотермически при температуре 280 К, причем объем газа увеличивается в 2 раза. Найти совершенную при расширении работу газа.

Ответ: 11.6 кДж

7. 1 кмоль двухатомного газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Начальное состояние газа характеризуется параметрами $P_1 = 12$ кПа, $V_1 = 2$ л. Максимальное давление за цикл $P_{\max} = 20$ кПа, максимальный объем за цикл $V_{\max} = 3$ л. Определить КПД цикла.

Ответ: 0.073

8. Найти изменение энтропии при изотермическом расширении 2 кг кислорода от объема V до $5V$.

Ответ: 831 Дж/К

ВАРИАНТ № 7

1. Найти собственную длину стержня, если в лабораторной системе отсчета его скорость $v = 2c/3$, длина 0,5 м и угол между ним и направлением движения 30°.

Ответ: 0.61 м

2. Какую разность потенциалов должна пройти α -частица, чтобы ее собственное время стало в 5 раз меньше лабораторного?

Ответ: 7350 МВ

3. В сосуде объемом 15 л находится смесь азота и водорода при температуре 23 °С и давлении 200 кПа. Массовая доля азота в смеси равна 0,7. Определить массу смеси и ее компонентов.

Ответ: 7.0 г; 4.9 г; 2.1 г

4. Определить энергию теплового движения 1-го моля двухатомного газа, заключенного в сосуд объемом 2 л при давлении 150 кПа.

Ответ: 750 Дж

5. На нагревание кислорода массой $m = 160$ г на $\Delta T = 12$ К было затрачено количество теплоты $Q = 1,76$ кДж. Как протекал процесс: при постоянном объеме или постоянном давлении?

Ответ: $P = \text{const}$

6. В изотермическом процессе расширения 1,2 кг азота (N_2) было сообщено 1200 кДж теплоты. Определить, как изменилось давление азота, если начальная температура его была 7°C .

Ответ: $P_1/P_2 = 1,7 \cdot 10^5$ раз

7. 2-х атомный газ совершает цикл, состоящий из двух изобар и двух изохор. Наименьший объем 10 л, наибольший 20 л, наименьшее давление 246 кПа, наибольшее 410 кПа. Определить КПД цикла.

Ответ: 0.087

8. Найти изменение энтропии при изобарном процессе расширения азота массой 5 г от объема 5 л до объема 9 л.

Ответ: 3.1 Дж/К

ВАРИАНТ № 8

1. Найти скорость частицы, если ее кинетическая энергия составляет половину энергии покоя.

Ответ: $2,22 \cdot 10^8$ м/с

2. Каков импульс протона, имеющего кинетическую энергию в 1 ГэВ?

Ответ: $9 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с

3. Сосуд емкостью 30 л заполнен смесью водорода и гелия при температуре 300 К и давлении 828 кПа. Масса смеси 24 г. Определить массы водорода и гелия.

Ответ: 15.8 г; 8.14 г

4. При какой температуре средняя кинетическая энергия теплового движения атомов гелия будет достаточной для того, чтобы атомы гелия преодолели земное притяжение и навсегда покинули земную атмосферу?

Ответ: $2 \cdot 10^8$ К

5. До какой температуры охладится водород, взятый при -3°C , если объем его адиабатически увеличился в 3 раза?

Ответ: 174 К

6. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты 21 кДж. Определить работу, которую совершил при этом газ и изменение его внутренней энергии.

Ответ: 6; 15 кДж

7. Тепловую машину, работающую по циклу Карно с КПД 10 %, используют при тех же резервуарах тепла как холодильную машину. Найти КПД холодильной машины.

Ответ: 900 %

8. Воздух объемом 10 л, находящийся при температуре 30 °С и давлении 0,1 МПа, изотермически сжали так, что его объем уменьшился в 10 раз. Определить изменение энтропии.

Ответ: –7.6 Дж/К

ВАРИАНТ № 9

1. Две частицы с одинаковыми скоростями $v = 3c/4$ движутся по одной прямой и попадают в мишень. Одна из частиц попала в мишень позже другой на время 10^{-8} с. Найти расстояние между частицами в полете в системе отсчета, связанной с ними.

Ответ: 3,4 м

2. На сколько процентов изменится продольный размер электрона после прохождения разности потенциалов 10^6 В?

Ответ: 66,1 %

3. В цилиндр высотой 1,6 м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении, начали медленно вдвигать поршень площадью 200 см^2 . Определить силу, которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии 10 см от дна цилиндра.

Ответ: 30 кН

4. Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы гелия при температуре 400 К.

Ответ: $8.3 \cdot 10^{-21}$ Дж

5. Один кмоль воздуха при давлении $P_1 = 10^6$ Па и температуре $T_1 = 390$ К изохорически изменяет давление так, что его внутренняя энергия изменяется на $\Delta U = -71,7$ кДж, затем изобарически расширяется и совершает работу $A = 745$ кДж. Определить параметры воздуха (считать $C_v = 721$ Дж/кг К) в конечном состоянии.

Ответ: 4 м^3 ; 477 К; 0.99 МПа

6. Каковы удельные теплоемкости C_p и C_v смеси газов, содержащей кислород массой 20 г и водород массой 30 г?

Ответ: 9.1; 6.5 кДж/кг·К

7. Над одним кмолем идеального газа совершают работу по циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар, причем точки 2 и 4 цикла лежат на одной изотерме, а температура в точках 1 и 3 равны 300 К и 400 К. Определить работу за цикл.

Ответ: 60 кДж

8. При нагревании 8 г аргона его абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Определить изменение энтропии при изохорическом и изобарическом нагревании.

Ответ: 1.7 Дж/К; 2.9 Дж/К

ВАРИАНТ № 10

1. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 0,50$ с, $v_2 = 0,75$ с по отношению к лабораторной системе отсчета. Найти: а) скорость сближения частиц в лабораторной системе отсчета; б) их относительную скорость.

Ответ: 1,25 с; 0,91 с

2. Какую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его собственное время стало в 10 раз меньше лабораторного?

Ответ: 4,61 МВ

3. Давление внутри плотно закупоренной бутылки при температуре 7°C было равно 1 атм. При нагревании бутылки пробка вылетела. До какой температуры нагрели бутылку, если пробка вылетела при давлении в бутылке 1,3 атм?

Ответ: 364 К

4. Определить среднее значение полной кинетической энергии молекулы кислорода при температуре 400 К.

Ответ: $1.38 \cdot 10^{-20}$ Дж

5. При изобарическом сжатии азота была совершена работа, равная 12 кДж. Определить затраченное количество теплоты и изменение внутренней энергии газа.

Ответ: -42 кДж, -30 кДж

6. При изотермическом расширении водорода массой $m=1$ г, имевшего температуру $T=280$ К, объем газа увеличился в 3 раза. Определить работу расширения газа.

Ответ: 1.3 кДж

7. 1 кг воздуха совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Начальный объем газа 80 дм^3 , давление меняется от 1,2 до 1,4 МПа. Температура $t_3=150^\circ\text{C}$. Определить КПД цикла.

Ответ: 2.2 %

8. 1 кмоль гелия, изобарически расширяясь, увеличил объем в 4 раза. Найти изменение энтропии при этом расширении.

Ответ: 29 кДж/К

ВАРИАНТ № 11

1. В К-системе отсчета частица, движущаяся со скоростью $0,99c$, пролетела от места своего рождения до точки распада расстояние 2 км . Определить собственное время жизни этой частицы.

Ответ: $0,95\text{ мкс}$

2. Кинетическая энергия релятивистской частицы (протона) 1 МэВ . Найти его скорость.

Ответ: $1,4 \cdot 10^7\text{ м/с}$

3. В цилиндр высотой $1,6\text{ м}$, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении, начали медленно вдвигать поршень площадью 200 см^2 . Определить силу, которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии 10 см от дна цилиндра.

Ответ: 32 кН

4. Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы гелия при температуре 400 К .

Ответ: $8,3 \cdot 10^{-21}\text{ Дж}$

5. Один кмоль воздуха при давлении $P_1 = 10^6\text{ Па}$ и температуре $T_1 = 390\text{ К}$ изохорически изменяет давление так, что его внутренняя энергия изменяется на $\Delta U = -71,7\text{ кДж}$, затем изобарически расширяется и совершает работу $A = 745\text{ кДж}$. Определить параметры воздуха (считать $C_v = 721\text{ Дж/кг К}$) в конечном состоянии.

Ответ: 4 м^3 ; 477 К ; $0,99\text{ МПа}$

6. Каковы удельные теплоемкости C_p и C_v смеси газов, содержащей кислород массой 20 г и водород массой 30 г ?

Ответ: $9,1$; $6,5\text{ кДж/кг К}$

7. Над одним кмолем идеального газа совершают работу по циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар, причем точки 2 и 4 цикла лежат на одной изотерме, а температура в точках 1 и 3 равны 300 К и 400 К . Определить работу за цикл.

Ответ: 60 кДж

8. При нагревании 8 г аргона его абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Определить изменение энтропии при изохорическом и изобарическом нагревании.

Ответ: $1,7\text{ Дж/К}$; $2,9\text{ Дж/К}$

ВАРИАНТ № 12

1. Два события происходят в лабораторной системе отсчета в одном и том же месте, но отстоят во времени на 3 с. Чему равно расстояние в пространстве между этими событиями в системе отсчета ракеты, если промежуток времени между событиями равен в ней 5 с?

Ответ: $12 \cdot 10^8$ м

2. Какую скорость имеет μ -мезон с энергией 1 ГэВ, если энергия покоя частицы 106 МэВ?

Ответ: 0,999 с

3. Давление внутри плотно закупоренной бутылки при температуре 7 °С было равно 1 атм. При нагревании бутылки пробка вылетела. До какой температуры нагрели бутылку, если пробка вылетела при давлении в бутылке 1,3 атм?

Ответ: 364 К

4. Определить среднее значение полной кинетической энергии молекулы кислорода при температуре 400 К.

Ответ: $1.38 \cdot 10^{-20}$ Дж

5. При изобарическом сжатии азота была совершена работа, равная 12 кДж. Определить затраченное количество теплоты и изменение внутренней энергии газа.

Ответ: –42 кДж, –30 кДж

6. При изотермическом расширении водорода массой $m=1$ г, имевшего температуру $T=280$ К, объем газа увеличился в 3 раза. Определить работу расширения газа.

Ответ: 1.3 кДж

7. 1 кг воздуха совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Начальный объем газа 80 дм³, давление меняется от 1,2 до 1,4 МПа. Температура $t_3=150$ °С. Определить КПД цикла.

Ответ: 2.2 %

8. 1 кмоль гелия, изобарически расширяясь, увеличил объем в 4 раза. Найти изменение энтропии при этом расширении.

Ответ: 29 кДж/К

ВАРИАНТ № 13

1. В системе K' покоится стержень, собственная длина которого равна 1 м. Стержень расположен так, что составляет угол $\alpha_0 = 60^\circ$ с осью x' . Определить угол α в системе K , если скорость системы K' относительно K равна 0,9 с.

Ответ: 76°

2. На сколько процентов релятивистская масса частицы больше массы покоя при скорости $v = 30 \text{ Мм/с}$?

Ответ: 0.5 %

3. Определить наименьший объем баллона, вмещающего 6,4 кг кислорода, если его стенки при температур 20°C выдерживают давление 160 Н/см^2 .

Ответ: 0.3 м^3

4. Определить среднее значение полной кинетической энергии молекулы водорода при температуре 400 К .

Ответ: $1.38 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$

5. Определить работу расширения 7 кг водорода при постоянном давлении и количество теплоты, переданное водороду, если в процессе нагревания температура газа повысилась на 200°C .

Ответ: 5.5; 20 МДж

6. На сколько больше теплоты нужно сообщить 12 кг кислорода (O_2), чтобы нагреть его от 20 до 70°C при постоянном давлении, чем для нагрева этой же массы кислорода при постоянном объеме?

Ответ: 156 кДж

7. Идеальный двухатомный газ совершает цикл Карно. Объемы в начале и в конце адиабатического расширения равны соответственно 12 и 16 л. Определить КПД цикла.

Ответ: 10.9 %

8. Кусок льда массой 200 г, взятый при температуре -10°C , был нагрет до температуры 0°C и расплавлен, после чего образовавшаяся вода нагрета до 10°C . Определить изменение энтропии. Теплоемкость льда 2 кДж/кг , теплоемкость воды 4.2 кДж/кг , удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг .

Ответ: 290 Дж/К

ВАРИАНТ № 14

1. В системе K' покоится стержень, собственная длина которого равна 1 м. Стержень расположен так, что составляет угол $\alpha_0 = 45^\circ$ с осью x' . Определить длину стержня в системе K , если скорость системы K' относительно K равна $0,8 \text{ с}$.

Ответ: 0.825 м

2. Кинетическая энергия электрона равна 10 МэВ. Во сколько раз его релятивистская масса больше массы покоя.

Ответ: 20.6

3. В баллон находятся 10 кг газа при давлении 10 МПа. Найти какую массу газа взяли из баллона, если давление в баллоне стало 2,3 МПа. Температура газа не изменилась.

Ответ: –7.7кг

4. Определить среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекулы азота, находящегося при температуре 1 кК.

Ответ: $1.38 \cdot 10^{-20}$ Дж

5. Работа, совершаемая 1 молем водорода равна 15 Дж. Какое количество теплоты было подведено к газу, если газ расширился изотермически?

Ответ: 15 Дж

6. Каковы удельные теплоемкости C_p и C_v смеси газов, содержащей кислород массой 10 г и азот массой 20 г?

Ответ: 711; 996 Дж/кг·К

7. Наименьший объем газа, совершающего цикл Карно, равен 153 л. Определить наибольший объем, если объем в конце изотермического расширения равен 600 л, а в конце изотермического сжатия 189 л.

Ответ: 741 л

8. Смешали воду массой 2 кг при температуре 280 К с водой массой 8 кг при температуре 320 К. Найти температуру смеси и изменение энтропии.

Ответ: 312 К; 146 Дж/К

ВАРИАНТ № 15

1. В лабораторной системе отсчета π -мезон с момента рождения до момента распада пролетел расстояние 75 м. Скорость π -мезона равна 0,995 с. Определить собственное время жизни мезона.

Ответ: 25 нс

2. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость $v_1 = 0,4$ с. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения β -частицу со скоростью $v_2 = 0,75$ с относительно ускорителя. Найти скорость частицы относительно ядра.

Ответ: 0,5 с

3. В запаянном сосуде находится вода, занимающая объем, равный половине сосуда. Найти давление и плотность паров при температуре 400 °С, если вся вода превратилась в пар.

Ответ: 155 МПа; 500 кг/м³

4. Определить кинетическую энергию молекулы азота, приходящуюся на одну степень свободы при температуре 1 кК.

Ответ: $6.9 \cdot 10^{-21}$ Дж

5. При нормальных условиях 2-х атомный газ имеет удельный объем, равный $0,348 \text{ м}^3/\text{кг}$. Определить, чему равны удельные теплоемкости C_p и C_v .

Ответ: 320; 450 Дж/кг К

6. Одноатомный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя в 8 раз больше температуры холодильника. Какую часть тепла, полученного от нагревателя, газ передает холодильнику?

Ответ: 1/8 (12.5 %)

7. 2-х атомный идеальный газ при давлении 0,1 МПа и температуре 300 К нагревают при постоянном объеме до давления 0,2 МПа. После этого газ изотермически расширился до первоначального давления и затем изобарически сжат до начального объема. Определить температуру газа для характерных точек цикла и КПД цикла.

Ответ: 600 К; 0.099

8. Водород массой 100 г нагрет изобарически так, что его объем увеличился в 3 раза, затем водород изохорически охлажден так, что давление его уменьшилось в 3 раза. Найти изменение энтропии.

Ответ: 456 Дж/К

ВАРИАНТ № 16

1. Собственное время жизни μ -мезона (мюон) равно 2 мкс. От точки рождения до точки распада в лабораторной системе отсчета μ -мезон пролетел расстояние 6 км. С какой скоростью (в долях скорости света) двигался мезон?

Ответ: 0,995 с

2. С какой скоростью движется частица, если ее релятивистская масса в три раза больше массы покоя?

Ответ: 0,943 с

3. Какое количество киломолей газа находится в баллоне объемом 10 м^3 при давлении 720 мм рт. ст. и температуре 17°C ?

Ответ: 390 моль

4. Определить среднее значение кинетической энергии молекулы азота при температуре 1 К.

Ответ: $3.5 \cdot 10^{-20}$ Дж

5. Одноатомный газ занимает объем 4 м^3 и находится под давлением $8 \cdot 10^5 \text{ Па}$. После изотермического расширения этого газа установилось давление 1 атм. Определить работу, совершенную газом в процессе расширения; какое количество теплоты было поглощено газом в

процессе расширения; на сколько при этом изменилась внутренняя энергия газа.

Ответ: 6.65 МДж; 6.65 МДж; 0

6. Некоторый газ при нормальных условиях имеет плотность $0,0894 \text{ кг/м}^3$. Определить его удельные теплоемкости C_p и C_v , а также какой это газ.

Ответ: H_2 ; 10.4; 14.5 кДж/кг·К

7. Идеальный газ совершает цикл Карно. $2/3$ количества теплоты, полученной от нагревателя, передается холодильнику. Температура холодильника 320 К. Определить температуру нагревателя.

Ответ: 480 К

8. Лед массой 2 кг при температуре 0°C был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру 100°C . Определить массу израсходованного пара и изменение его энтропии.

Ответ: -1.83 кДж/К

ВАРИАНТ № 17

1. Скорость электрона составляет $0,9$ скорости света в вакууме. Вычислить в процентах, какая ошибка будет сделана, если кинетическую энергию частицы вычислять по формуле классической механики.

Ответ: 69 %

2. Две частицы, двигавшиеся в лабораторной системе отсчета по одной прямой с одинаковой скоростью $v=3c/4$, попали в неподвижную мишень с интервалом времени $\Delta t=50 \text{ нс}$. Найти собственное расстояние между частицами до попадания в мишень.

Ответ: 17 м

3. Баллон емкостью 5 л содержит смесь гелия и водорода при давлении 600 кПа. Масса смеси равна 4 г, массовая доля гелия равна 0,6. Определить температуру смеси.

Ответ: 258 К

4. Определить энергию вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 7°C .

Ответ: 83 кДж

5. При постоянном давлении 12 м^3 водяных паров были нагреты от температуры 127°C до 227°C . Начальное давление водяных паров $1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить количество теплоты, необходимое для нагревания, если $C_p=33700 \text{ Дж/кмоль К}$.

Ответ: 1.46 МДж

6. Азот массой 200 г расширяется изотермически при температуре 280 К, причем объем газа увеличивается в 2 раза. Найти совершенную при расширении работу газа.

Ответ: 11.6 кДж

7. 1 кмоль двухатомного газа совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Начальное состояние газа характеризуется параметрами $P_1=12$ кПа, $V_1=2$ л. Максимальное давление за цикл $P_{\max}=20$ кПа, максимальный объем за цикл $V_{\max}=3$ л. Определить КПД цикла.

Ответ: 0.073

8. Найти изменение энтропии при изотермическом расширении 2 кг кислорода от объема V до $5V$.

Ответ: 831 Дж/К

ВАРИАНТ № 18

1. Предположим, что мы можем измерить длину стержня с точностью $\Delta l = 0,1$ мкм. При какой относительной скорости двух инерциальных систем отсчета можно было бы обнаружить релятивистское сокращение длины стержня, собственная длина которого равна 1 м.

Ответ: 134 км/с

2. Частица движется со скоростью $v = 0,5c$. Во сколько раз релятивистская масса частицы больше массы покоя?

Ответ: 1,15

3. В сосуде объемом 15 л находится смесь азота и водорода при температуре 23 °С и давлении 200 кПа. Массовая доля азота в смеси равна 0,7. Определить массу смеси и ее компонентов.

Ответ: 7.0 г, 4.9 г, 2.1 г

4. Определить энергию теплового движения 1-го моля двухатомного газа, заключенного в сосуд объемом 2 л при давлении 150 кПа.

Ответ: 750 Дж

5. На нагревание кислорода массой $m=160$ г на $\Delta T=12$ К было затрачено количество теплоты $Q=1,76$ кДж. Как протекал процесс: при постоянном объеме или постоянном давлении?

Ответ: $P=\text{const}$

6. В изотермическом процессе расширения 1,2 кг азота (N_2) было сообщено 1200 кДж теплоты. Определить, как изменилось давление азота, если начальная температура его была 7 °С.

Ответ: $P_1/P_2 = 1.7 \cdot 10^5$

7. 2-х атомный газ совершает цикл, состоящий из двух изобар и двух изохор. Наименьший объем 10 л, наибольший 20 л, наименьшее давление 246 кПа, наибольшее 410 кПа. Определить КПД цикла.

Ответ: 0.087

8. Найти изменение энтропии при изобарном процессе расширения азота массой 5 г от объема 5 л до объема 9 л.

Ответ: 3.1 Дж/К

ВАРИАНТ № 19

1. Две релятивистские частицы движутся в лабораторной системе отсчета со скоростями $v_1 = 0,6$ с и $v_2 = 0,9$ с вдоль одной прямой. Определить их относительную скорость, если частицы движутся в одном направлении.

Ответ: 0,652 с

2. Отношение заряда движущегося электрона к его массе, определенное из опыта равно $0,88 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. Определить релятивистскую массу m электрона и его скорость.

Ответ: $2 m_0$; 0,866 с

3. Сосуд емкостью 30 л заполнен смесью водорода и гелия при температуре 300 К и давлении 828 кПа. Масса смеси 24 г. Определить массы водорода и гелия.

Ответ: 15.8 г; 8.14 г

4. При какой температуре средняя кинетическая энергия теплового движения атомов гелия будет достаточной для того, чтобы атомы гелия преодолели земное притяжение и навсегда покинули земную атмосферу?

Ответ: $2 \cdot 10^4$ К

5. До какой температуры охладится водород, взятый при -3 °С, если объем его адиабатически увеличился в 3 раза?

Ответ: 174 К

6. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты 21 кДж. Определить работу, которую совершил при этом газ и изменение его внутренней энергии.

Ответ: 6 кДж; 15 кДж

7. Тепловую машину, работающую по циклу Карно с КПД 10 %, используют при тех же резервуарах тепла как холодильную машину. Найти КПД холодильной машины.

Ответ: 9

8. Воздух объемом 10 л, находящийся при температуре 30 °С и давлении 0,1 МПа, изотермически сжали так, что его объем уменьшился в 10 раз. Определить изменение энтропии.

Ответ: -7.6 Дж/К

ВАРИАНТ № 20

1. Частица массы покоя m_0 , движущаяся со скоростью $4c/5$ испытывает неупругое соударение с покоящейся частицей равной массы. Чему равна скорость образовавшейся составной частицы?

Ответ: $c/2$

2. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить скорость частицы с массой покоя m_0 от 0,60 с до 0,80 с? Сравнить полученный результат со значением, вычисленным по классической формуле.

Ответ: $0,42m_0c^2$; $0,14m_0c^2$

3. В цилиндр высотой 1,6 м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении, начали медленно вдвигать поршень площадью 200 см². Определить силу, которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии 10 см от дна цилиндра.

Ответ: 32 кН

4. Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы гелия при температуре 400 К.

Ответ: $8.3 \cdot 10^{-21} \text{ К}$

5. Один кмоль воздуха при давлении $P_1 = 10^6 \text{ Па}$ и температуре $T_1 = 390 \text{ К}$ изохорически изменяет давление так, что его внутренняя энергия изменяется на $\Delta U = -71,7 \text{ кДж}$, затем изобарически расширяется и совершает работу $A = 745 \text{ кДж}$. Определить параметры воздуха (считать $C_v = 721 \text{ Дж/кг К}$) в конечном состоянии.

Ответ: 4 м^3 ; 477К; 0.99 МПа

6. Каковы удельные теплоемкости C_p и C_v смеси газов, содержащей кислород массой 20 г и водород массой 30 г?

Ответ: 9.1; 6.5 кДж/кг·К

7. Над одним кмолем идеального газа совершают работу по циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар, причем точки 2 и 4 цикла лежат на одной изотерме, а температура в точках 1 и 3 равны 300 К и 400 К. Определить работу за цикл.

Ответ: 60 кДж

8. При нагревании 8 г аргона его абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Определить изменение энтропии при изохорическом и изобарическом нагревании.

Ответ: 1.7; 2.9 Дж/К

4.2.4. Решение типового варианта и образец оформления индивидуального задания № 2

Задача 1. На сколько процентов изменятся продольные размеры протона и электрона после прохождения ими разности потенциалов $U = 10^6$ В?

Дано:
 $U = 10^6$ В

Найти:
 $\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_e = ?$
 $\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_p = ?$

Решение: Кинетическая энергия обеих частиц
 $E_k = 1$ МэВ. По релятивистской формуле

$$E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = zeU,$$

где e – элементарный заряд; z – число элементарных зарядов частицы.

В случае протона и электрона $z = 1$. Отсюда

$$\sqrt{1 - \beta^2} = \frac{m_0 c^2}{eU + m_0 c^2}.$$

Продольные размеры частиц равны

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2},$$

а относительное изменение продольных размеров

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{l_0 - l}{l} = 1 - \sqrt{1 - \beta^2} = \frac{eU}{eU + m_0 c^2}.$$

Для электрона $m_0 c^2 = 0,51$ МэВ, для протона $m_0 c^2 = 938$ МэВ;

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_e = 66,1 \text{ \%}; \quad \left(\frac{\Delta l}{l}\right)_p = 0,1 \text{ \%}.$$

Задача 2. Электрон движется со скоростью 0,8 скорости света. Определите: массу электрона; энергию покоя электрона (в джоулях и электронвольтах); полную энергию электрона; кинетическую энергию электрона.

Дано:
 $v = 0,8c$
 $m_0 =$
 $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Решение: Энергию покоя электрона найдем по формуле Эйнштейна:
 $E_0 = m_0 c^2,$
где m_0 – масса покоя электрона, величина постоянная.

Найти:

$$E_c = ?$$

$$m = ?$$

$$E = ?$$

$$E_k = ?$$

$$E_0 = \left[\text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж} \right].$$

Масса движущегося электрона зависит от скорости движения и связана соотношением $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

$$\text{Полная энергия электрона: } E = mc^2 \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Полная энергия также равна сумме энергий покоя и кинетической энергии движения: $E = E_0 + E_k$, отсюда найдем кинетическую энергию электрона: $E_k = E - E_0$.

Вычислим эти величины:

$$E_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3^2 \cdot (10^8)^2 = 81,9 \cdot 10^{-31+16} = 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

Выразим энергию электрона в электронвольтах, учитывая, что $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$:

$$E_0 = \frac{8,19 \cdot 10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 5,12 \cdot 10^5 \approx 0,512 \cdot 10^6 \text{ эВ}.$$

Масса движущегося электрона

$$m = \frac{9,1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{0,8c^2}{c^2}}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1 - 0,8^2}} \approx 15,2 \cdot 10^{-31} \approx 1,52 \cdot 10^{-30} \text{ кг}.$$

Полная энергия электрона

$$E = 1,52 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 13,68 \cdot 10^{-14} \approx 13,7 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия электрона

$$K = 13,7 \cdot 10^{-14} - 8,19 \cdot 10^{-14} \approx 5,49 \cdot 10^{-14} \approx 5,5 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

Ответ: $E_0 = 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ Дж} = 0,511 \text{ МэВ}$;

$$m = 1,52 \cdot 10^{-30} \text{ кг}; E \approx 13,7 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}; K \approx 5,5 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

Задача 3. В сосуде объемом 10 л находится 4 г гелия при температуре 17 °С. Найти давление гелия.

Дано: СИ
 $V=10$ л 10^{-2} м³
 $M=4$ г $4 \cdot 10^{-3}$ кг
 $T=17$ °С 290 К

Найти:
 $P=?$

Решение: Предположим, что давление гелия невелико, тогда начальные условия соответствуют модели идеального газа. Идеальные газы подчиняются уравнению Менделеева – Клапейрона

$$PV = \frac{M}{\mu} RT, \quad (1)$$

где P – давление газа; V – объем газа; T – абсолютная температура; M – масса и μ – молекулярный вес. Из уравнения (1) имеем величину давления P :

$$P = \frac{M}{\mu} \frac{1}{V} \cdot RT.$$

Производим расчеты

$$P = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 290}{4 \cdot 10^{-2}} = 2,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Ответ: $P = 2,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$

Задача 4. В баллоне находится азот под давлением 200 кПа. Концентрация молекул $4,1 \cdot 10^{19}$ 1/см³. Вычислить среднюю энергию, приходящуюся на одну степень свободы. Результат представить в электронвольтах (эВ).

Дано: СИ
 $P=200$ кПа $2 \cdot 10^5$ Па
 $n=4,1 \cdot 10^{19}$ 1/см³ $4,1 \cdot 10^{25}$ 1/м³

Найти:
 $\bar{E}=?$

СИ: Решение: Средняя энергия молекул газа вычисляется по формуле $\bar{E} = \frac{i}{2} kT$, где i

– сумма поступательных, вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы. «Размороженными» являются колебательные степени свободы, следовательно, $i = 5$.

На одну степень свободы приходится $\frac{1}{2} kT$.

Известно, что $P = nkT$.

Поэтому

$$\frac{1}{2}kT = \bar{E}_{\text{ст}} = \frac{P}{2n} = \frac{2,0 \cdot 10^5}{4,1 \cdot 2 \cdot 10^{25}} = 0,24 \cdot 10^{-20},$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.} \quad \bar{E}_{\text{ст}} = 0,015 \text{ эВ.}$$

Ответ: $\bar{E}_{\text{ст}} = 0,015 \text{ эВ.}$

Задача 5. Десять молей идеального двухатомного газа, занимающего при давлении 0,1 МПа и температуре 0 °С объем 0,01 м³, адиабатно расширяется до вдвое большего объема. Определить совершенную газом при расширении работу, конечное давление газа, конечную величину внутренней энергии газа.

Дано:

$$m/\mu = 10 \text{ молей}$$

$$p_1 = 0,1 \text{ МПа}$$

$$T_1 = 0 \text{ °С}$$

$$V_1 = 0,01 \text{ м}^3$$

Найти:

$$W = ?$$

$$p_2 = ?$$

$$U_2 = ?$$

СИ:

$$0,1 \cdot 10^6$$

$$273 \text{ К}$$

Решение: При адиабатном процессе конечное давление находится как

$$p_2 = p_1 \cdot (V_1/V_2)^\gamma.$$

Для двухатомного газа число степеней свободы $i = 5$, поэтому

$$\gamma = (i + 2)/i = (5 + 2)/5 = 1,4.$$

Тогда $p_2 = 0,38 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

Совершаемая газом работа равна убыли внутренней энергии газа

$$W = -\Delta U = (m/\mu) \cdot (i/2) R \cdot (T_1 - T_2),$$

Записав уравнение Клайперона – Менделеева для начального и конечного состояний, получим

$$(m/\mu) \cdot R \cdot T_1 = p_1 V_1; \quad (m/\mu) \cdot R \cdot T_2 = p_2 V_2.$$

Подставив эти выражения в формулу для работы, окончательно получим

$$W = (i/2) \cdot (p_1 V_1 - p_2 V_2) = 600 \text{ Дж.}$$

Внутренняя энергия газа U_2 в конечном состоянии может быть найдена как

$$U_2 = U_1 - \Delta U = (m/\mu) \cdot (i/2) \cdot R \cdot T_1 - \Delta U \quad U_2 = 56116 \text{ Дж.}$$

Ответ: $W = 600 \text{ Дж; } p_2 = 0,38 \cdot 10^5 \text{ Па; } U_2 = 56116 \text{ Дж.}$

Задача 6. Молекулярный кислород (O_2) массой 6 г расширяется вдвое при постоянном давлении. Начальная температура газа 303 К. Определить работу расширения газа, изменение его внутренней энергии и количество сообщенной газу теплоты.

Дано:
 $m=6$ г
 $T_1=303^\circ\text{K}$
 $P=\text{const}$

Найти:
 $A=?$
 $\Delta U=?$
 $Q=?$

СИ:
 $6 \cdot 10^{-3}$ кг

Решение: Изменение внутренней энергии можно найти как

$$\Delta U = (m/\mu) \cdot [(i/2) \cdot R + R] \cdot \Delta T,$$

где $\Delta T = T_2 - T_1$ – изменение температуры; T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры газа. Поскольку расширение происходит при постоянном давлении, воспользовавшись законом Гей-Люссака

$$V_1/T_1 = V_2/T_2,$$

находим конечную температуру газа:

$$T_2 = T_1 \cdot V_2/V_1 = 2 \cdot T_1.$$

Таким образом, $\Delta T = T_2 - T_1 = T_1$, отсюда $\Delta U = 1,67$ кДж.

Поскольку давление постоянно, то работа расширения может быть найдена как:

$$A = p \cdot \Delta V = p \cdot V_1.$$

Из уравнения Клайперона – Менделеева найдем объем газа при температуре T_1

$$V_1 = mRT_1/(\mu \cdot p).$$

Таким образом, $A = mRT_1/\mu$;
 $A = 0,47$ кДж.

Количество теплоты, сообщенной газу, согласно первому началу термодинамики будет

$$Q = \Delta U + A = 1,67 + 0,47 = 2,14 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A = 0,47$ кДж,
 $\Delta U = 1,67$ кДж, $Q = 2,14$ кДж

Задача 7. Температура пара, поступающего в паровую машину, $T_1 = 400$ К, температура в конденсаторе $T_2 = 320$ К. Какова теоретически возможная максимальная работа A машины при затрате количества теплоты 5 кДж?

Дано:

$$T_1 = 400 \text{ К}$$

$$T_2 = 320 \text{ К}$$

$$Q_1 = 5 \text{ кДж}$$

Найти:

$$A = ?$$

СИ:

$$5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Решение:

Максимальная работа, совершаемая тепловым двигателем, возможна лишь при обратимом цикле Карно (состоит из двух изотерм и двух адиабат). Термический КПД цикла Карно

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

где T_1 и T_2 – термодинамические температуры нагревателя и холодильника соответственно.

КПД любой тепловой машины

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \quad (2)$$

где A – работа, совершаемая тепловой машиной, Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя.

Приравняв выражения (1) и (2)

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{A}{Q_1}$$

получим искомую теоретически возможную максимальную работу

$$A = \frac{T_1 - T_2}{T_1} Q_1$$

Ответ: $A = 1 \text{ кДж}$

Задача 8. Найдите изменение энтропии ΔS идеального газа в адиабатическом процессе.

Дано:
 $Q = \text{const}$

Найти:
 $\Delta S = ?$

Решение: В этом процессе анализ поведения фазовой области молекулы не позволяет сделать какие-то определенные выводы о том, как изменяется энтропия. Дело в том, что объем и температура в адиабатическом процессе связаны обратной зависимостью: при расширении (увеличении объема) температура падает, а при сжатии (уменьшении объема) температура растет. Поэтому в обратной зависимости находятся и размеры фазового прямоугольника, и трудно сказать, нарастает или убывает его площадь, то есть число содержащихся в нем фазовых ячеек.

Для ответа на вопрос, как ведет себя энтропия при адиабатическом процессе, воспользуемся уравнением адиабаты в виде

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}, \quad \text{где } \gamma = C_p/C_v = (i+2)/i$$

Так как $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$, то

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma}$$

и, следовательно,

$$\begin{aligned} \Delta S &= \nu R \left(\ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{i}{2} \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-\gamma} \right) = \nu R \left(\ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{i}{2} (1-\gamma) \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right) = \\ &= \nu R \left(1 + \frac{i}{2} (1-\gamma) \right) \ln \frac{V_2}{V_1}. \end{aligned}$$

Распишем выражение

$$\left(1 + \frac{i}{2} (1-\gamma) \right) = 1 + \frac{i}{2} - \frac{i}{2} \gamma = 1 + \frac{i}{2} - \frac{i}{2} \cdot \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{i}{2} - \frac{i}{2} - 1 = 0,$$

откуда следует, что

$$\Delta S = 0.$$

то есть энтропия S не изменяется.

Ответ: $\Delta S = 0$.

5. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ

5.1. Требования для сдачи экзамена

К экзамену допускаются только те студенты, у которых зачтены все индивидуальные задания и лабораторные работы.

Студенты, обучающиеся по КЗФ, сдают экзамен во время зимней экзаменационной сессии по билетам (в устной или письменной форме). Каждый билет содержит два теоретических вопроса, четыре задания на выбор варианта ответа и четыре задачи. Экзамен считается сданным, если выполнено более 55 % задания. Студенты, обучающиеся с использованием ДОТ, сдают экзамен в тестовой форме (on-line режим).

5.2. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Предмет и структура физики.
2. Предмет механики.
3. Материальная точка. Система отсчета. Радиус-вектор. Траектория. Путь. Вектор перемещения. Скорость.
4. Вычисление пройденного пути. Средняя скорость прохождения пути.
5. Ускорение. Понятие о кривизне. Нормальное и тангенциальное ускорение.
6. Основная задача механики.
7. Абсолютно твердое тело. Поступательное и вращательное движение. Векторы элементарного угла поворота, угловой скорости и углового ускорения. Связь линейных и угловых характеристик движения.
7. Первый закон Ньютона – постулат существования инерциальных систем отсчета.
8. Понятие силы и инертной массы. Импульс. Второй закон Ньютона.
9. Третий закон Ньютона.
10. Понятие о механической системе. Закон сохранения импульса.
11. Центр масс. Теорема о движении центра масс.
12. Движение тел с переменной массой. Уравнение Мещерского.
13. Реактивное движение. Формула Циолковского.
14. Проблемы космических полетов.
15. Понятие о механической работе и энергии. Мощность.
16. Кинетическая энергия.
17. Консервативные силы. Примеры консервативных сил.
18. Потенциальная энергия частицы в потенциальном поле.
19. Связь потенциальной энергии и силы.

20. Закон сохранения энергии материальной точки в потенциальном поле.
21. Потенциальные кривые. Фinitное и инфинитное движение.
20. Консервативные системы. Закон сохранения энергии в механике.
21. Абсолютно упругий удар.
22. Абсолютно неупругий удар.
23. Момент силы и момент импульса относительно точки и оси.
24. Уравнение моментов.
25. Закон сохранения момента импульса системы материальных точек.
26. Основное уравнение динамики вращательного движения.
27. Момент инерции относительно неподвижной оси. Теорема Гюйгенса – Штейнера.
28. Закон сохранения момента импульса при вращении относительно неподвижной оси. Скамья Жуковского.
29. Кинетическая энергия вращательного движения.
30. Работа и мощность при вращательном движении.
31. Плоское движение твердого тела.
32. Классический принцип относительности.
33. Скорость света – инвариант относительно инерциальных систем отсчета. Опыты Бонч-Бруевича.
34. Постулаты Эйнштейна.
35. Второй постулат как следствие первого постулата.
36. Преобразования Лоренца.
37. Относительность одновременности.
38. Длина отрезка в разных системах отсчета.
39. Интервал времени в разных системах отсчета. Опыты с мюонами.
40. Релятивистский закон сложения скоростей.
41. О скоростях, превышающих световую.
42. Законы Ньютона в релятивистской динамике.
43. Взаимосвязь массы и энергии. Кинетическая энергия в релятивистской механике.
44. Взаимосвязь импульса и энергии, кинетической энергии и импульса.
45. Частицы с массой покоя, равной нулю.
46. Понятие о неинерциальных системах отсчета.
47. Сила инерции. Принцип Даламбера.
48. Центробежная сила инерции.
49. Сила Кориолиса. Закон Бэра.
50. Закон всемирного тяготения.

51. Напряженность поля тяготения. Принцип суперпозиции для напряженностей.
52. Работа в поле тяготения. Потенциальная энергия поля тяготения.
53. Потенциал поля тяготения. Принцип суперпозиции для потенциалов.
- Эквипотенциальные поверхности.
54. Космические скорости.
55. Законы Кеплера.
56. Статистический и термодинамический метод.
57. Понятие об идеальном газе. Законы идеального газа.
58. Поток молекул.
59. Основное уравнение молекулярно-кинетической энергии идеального газа
60. Следствия из основного уравнения.
61. Макроскопические тела. Статистический и термодинамический метод.
62. Термодинамические системы. Термодинамические процессы. Равновесные и неравновесные процессы.
63. Идеальный газ. Законы идеального газа.
64. Поток молекул. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
65. Следствия из основного уравнения.
66. Эргодическая гипотеза. Основные положения классической статистики.
67. Распределение молекул по скоростям.
68. Скорости молекул. Опыт Штерна.
69. Барометрическая формула.
70. Распределение Больцмана по потенциальным энергиям. Опыт Перрена.
71. Степени свободы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы.
72. Внутренняя энергия системы – функция состояния. Макроскопическая работа. Теплота. Эквивалентность теплоты и работы. Первое начало термодинамики.
73. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам в идеальном газе.
74. Изохорный процесс.
75. Изобарный процесс. Формула Майера.
76. Изотермический процесс.
77. Адиабатный процесс. Уравнение адиабаты. Политропный процесс.

78. Неполноценность первого начала термодинамики. Различные формулировки второго начала термодинамики. Круговые процессы. Тепловые машины.

79. Цикл Карно с идеальным газом.

80. Принцип действия холодильной машины.

81. Термодинамическая вероятность макроскопического состояния.

Распределение молекул по объему.

82. Энтропия. Формула Больцмана.

83. Закон возрастания энтропии. Гипотеза о тепловой смерти Вселенной.

84. Статистический смысл второго начала термодинамики.

85. Свободная энергия.

86. Общие сведения о явлениях переноса. Средняя длина свободного пробега молекул.

87. Стационарная диффузия.

88. Взаимодействие молекул и агрегатные состояния.

5.3. Образцы билетов к экзамену для КЗФ

Экзаменационный билет № 0

Теоретические вопросы

1. Понятие о механической системе. Закон сохранения импульса. Центр масс. Теорема о движении центра масс.
2. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам в идеальном газе. Изохорный процесс

Задания

1. Материальная точка летит в направлении неподвижной стенки со скоростью v , перпендикулярной стенке. Происходит абсолютно упругий удар. Изменение импульса точки равно

1) 0; 2) mv ; 3) $2mv$; 4) $-mv$

2. С наклонной плоскости, высотой h скатывается шар. Закон сохранения механической энергии имеет вид:

$$1) \frac{mv^2}{2} = \frac{I\omega^2}{2}; \quad 2) mgh = \frac{I\omega^2}{2}; \quad 3) mgh = \frac{mv^2}{2}; \quad 4) mgh + \frac{mv^2}{2} = \frac{I\omega^2}{2};$$

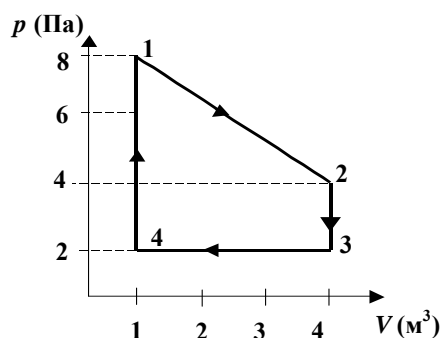
$$5) mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}.$$

3. Наблюдатель движется мимо метровой линейки со скоростью, равной половине скорости света. Какой длины по его измерениям окажется эта линейка?

- 1) 1 м; 2) 1,2 м; 3) 0,866 м.

4. Работа, совершаемая идеальным газом за один цикл, изображенный на диаграмме pV , равна

- 1) 12 Дж; 2) 24 Дж; 3) 32 Дж; 4) 6 Дж.



Задачи

- Диск радиусом $R=20$ см вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A=3$ рад, $B=-1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $C=0,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. Определите тангенциальное, нормальное и полное ускорение для $t = 10$ с.
- Какую работу надо совершить, чтобы заставить движущееся тело массой $m = 2$ кг увеличить скорость от 2 м/с до 5 м/с.
- Один моль кислорода, находящегося при температуре 290 К, адиабатически сжат так, что его давление возросло в 10 раз. Найти работу, которая была совершена над газом.
- Найти изменение энтропии при изобарном расширении азота массой 4 г от объема 5 л до объема 9 л.

5.4. Образцы билетов к экзамену для студентов обучающихся с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Экзамен проводится в тестовой форме (on-line)

Задания на выбор единственного ответа

Задание 1.

Два поезда движутся навстречу друг другу по прямолинейному участку пути. Один из них ускоренно, второй замедленно. Их ускорения направлены:

1. в одну сторону
2. в противоположные стороны
3. зависит от выбора системы отсчета
4. однозначно об их направлениях ничего нельзя сказать

Ваш ответ:

Задание 2.

Нормальная составляющая ускорения (центростремительное ускорение) направлена:

1. перпендикулярно к касательной в сторону вогнутости кривой
2. перпендикулярно к касательной в сторону противоположную вогнутости кривой
3. вдоль касательной к траектории в данной ее точке
4. произвольно

Ваш ответ:

Задание 3.

Как изменится сила гравитационного взаимодействия двух материальных точек, если их массы увеличить в 2 раза каждую, а расстояние между ними уменьшить в 2 раза?

1. увеличится в 16 раз
2. уменьшится в 2 раза
3. не изменится
4. увеличится в 4 раза

Ваш ответ:

Задание 4.

Какую работу совершает равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равномерно движущемуся по окружности?

1. $A > 0$
2. $A < 0$
3. $A = 0$

Ваш ответ:

Задание 5.

Импульс замкнутой системы

1. равен нулю
2. есть величина постоянная
3. зависит от внутренних сил
4. зависит от внешних сил

Ваш ответ:

Задание 6.

Как изменится момент инерции свинцового цилиндра относительно его оси, если цилиндр, сплющить в диск?

1. уменьшится в 2 раза
2. увеличится в 2 раза
3. останется постоянным
4. уменьшится в 4 раза

Ваш ответ:

Задание 7.

Уравнение процесса, при котором энтропия постоянна $S = \text{const}$ имеет вид:

1. $PV^k = \text{const}$
2. $PV^{k-1} = \text{const}$
3. $PV^{1-k} = \text{const}$
4. $PV^{k-1} = \text{const}$

(P – давление газа, V – объем, k – коэффициент Пуассона)

Ваш ответ:

Задание 8.

Два космических корабля летят навстречу друг другу. Один со скоростью v_1 , другой со скоростью v_2 с одного корабля был испущен световой импульс навстречу второму кораблю. Какова скорость светового импульса в системе отсчета, связанного со вторым кораблем, т.е. с кораблем, навстречу которому движется световой импульс?

1. c
2. $v_1 + v_2$
3. $c + v_1$
4. $c + v_2$

Ваш ответ:

Задания на выбор множественных ответов

Задание 9.

Консервативными силами являются силы:

1. $\vec{F} = m\vec{a}$
2. $\vec{F} = -k\vec{x}$
3. $\vec{F} = -\mu\vec{v}$
4. $\vec{F} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r}$
5. $\vec{F} = m\vec{g}$

Ваш ответ:

Задание 10.

Работа, совершаемая газом при изохорическом процессе, может быть определена по формуле

1. $A = P(V_2 - V_1)$
2. $A = 0$
3. $A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$
4. $A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} P_1 V_1 \ln \frac{P_1}{P_2}$
5. $A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$

Ваш ответ:

Задание 11.

Работа, совершаемая газом при изотермическом расширении, может быть определена по формуле

1. $A = P(V_2 - V_1)$

$$2. A = \int_{V_1}^{V_2} P dV .$$

$$3. A = 0 .$$

$$4. A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT \ln \frac{V_2}{V_1} .$$

$$5. A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} P_1 V_1 \ln \frac{P_1}{P_2} .$$

Ваш ответ:

Задание 12.

Укажите формулу, определяющую кинетическую энергию тела, движущегося со скоростью близкой к скорости света

$$1. E_k = \frac{mv^2}{2} .$$

$$2. E_k = E - E_0 .$$

$$3. E_k = \frac{p^2}{2m_0} .$$

$$4. E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

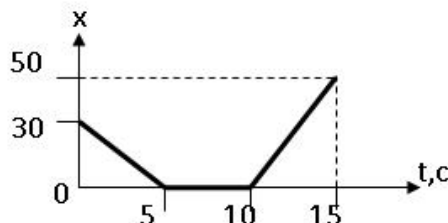
$$5. E_k = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

Ваш ответ:

Задания на установление последовательности

Задание 13.

На рисунке представлен график зависимости координаты x от времени движения



тела в промежутке времени $0 \div 15$.

Укажите последовательность типов движений, соответствующих графику, начиная от $t = 0$

1. стоит
2. движется равномерно в положительном направлении
3. движется равномерно в отрицательном направлении

Ваш ответ:

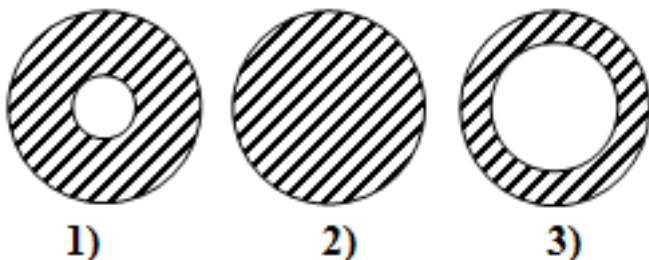
Задание 14.

Закон сохранения в механике гласит:

1. в замкнутой системе тел
2. равная сумме кинетической и потенциальной энергии
3. полная механическая энергия
4. между которыми действуют только консервативные силы
5. остается постоянной

Ваш ответ:

Задание 15.



На рисунке изображены сечения 3-х цилиндров с равными массами и равными внешними радиусами. Укажите последовательность номеров цилиндров в порядке увеличения момента инерции относительно оси, совпадающей с осью цилиндра

1. 1
2. 2
3. 3

Ваш ответ:

Задание 16.

Первое начало термодинамики формулируется следующим образом

1. изменение внутренней энергии системы
2. и на совершение работы против внешних сил
3. количество теплоты, сообщенное системе идет на

Ваш ответ:

Задания на установление соответствия

Задание 17.

Установите соответствие между физическими величинами и их сохранением при движении планеты вокруг Солнца:

1. импульс
2. механическая энергия
3. момент импульса
4. потенциальная энергия
5. кинетическая энергия

1. сохраняется
2. не сохраняется

Ваш ответ:

Задание 18.

Установите соответствие, какие из приведенных ниже величин и законов являются инвариантами СТО?

1. скорость света в вакууме
2. длина
3. законы механики
4. время
5. законы электродинамики

1. инвариант
2. не инвариант

Ваш ответ:

Задания для краткого ответа

Задание 19.

Шар массой $m_1 = 6$ кг, движущийся со скоростью $v_1 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, сталкивается с покоящимся шаром массой $m_2 = 4$ кг. Считая соударение центральным и абсолютно упругим, найдите скорость первого шара после удара. Ответ представьте в единицах СИ.

Ваш ответ:

Задание 20.

Определить среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекулы азота, находящегося при температуре 1 кК.

Ваш ответ:

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Литература обязательная

1. Савельев И.В. Курс общей физики, т. 1. – М.: Изд-во Наука, 1982. – 432 с.
2. Детлаф А.А. Курс общей физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Изд-во Высш. шк., 1999. – 718 с.
3. Чертов А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Изд-во Высш. шк., 1979. – 432 с.
4. Трофимова Г.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1997. – 524 с.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – М.: Наука, 1974. – 423 с.

6.2. Литература дополнительная

6. Хайкин С.Э. Физические основы механики. – М.: Наука, 1971.
7. Иродов И.Е. Основные законы механики. – М.: Высш. шк., 1985.
8. Астахов А.В. Курс физики. – М.: Наука, т. 1, 1971.
9. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. – М.: Высш. шк., 1986.
10. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. – М.: Наука, 1987.
11. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. – М.: Высш. шк., 1988.

6.3. Учебно-методические пособия

12. Кравченко Н.С. Физика. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие для студентов технических специальностей заочной и дистанционной форм обучения / Н.С. Кравченко, Е.В. Лисичко, С.И. Твердохлебов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011.

13. Методические указания для выполнения лабораторных работ. – Режим доступа http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/tief/method_work/method_work2/lab1, вход свободный.

14. Виртуальный лабораторный комплекс по дисциплине «Физика 1». – Режим доступа: <http://lms.tpu.ru>, вход свободный.

6.4. Internet-ресурсы

15. Сайт ТПУ. – Режим доступа: <http://www.tpu.ru>, вход свободный.

16. Сайт кафедры теоретической и экспериментальной физики. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/tief>, вход свободный.

Учебное издание

ФИЗИКА 1

Методические указания и индивидуальные задания

Составители

КРАВЧЕНКО Надежда Степановна
ЛИСИЧКО Елена Владимировна
МАКИЕНКО Антонина Васильевна

Рецензент

*доктор физико-математических наук,
профессор кафедры ТуЭФ ФТИ*

В.Ф. Пичугин

Редактор *С.В. Ульянова*

Компьютерная верстка *Т.И. Тарасенко*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать Хегох. Усл.печ.л. 5,29. Уч.-изд.л. 4,79.


Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru