

Предисловие

Среди естественных наук одно из важнейших мест занимает физика. Она является фундаментом, на котором создают свои теоретические построения и совершенствуют свои экспериментальные методы естественные и прикладные науки. Это предопределяет значение курса физики в программах высшей школы, особенно высших технических учебных заведений. На протяжении последних трех столетий развитие техники тесно переплеталось с развитием физики, которая предваряла принципиально новые направления в технике. И поэтому физика принадлежит к числу фундаментальных наук, составляющих основу теоретической подготовки инженеров и играющих роль той базы, без которой невозможна успешная деятельность инженера в любой области современной техники.

Физика есть наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, наиболее общие и простые формы движения материи (механические, тепловые, электромагнитные и др.) и их взаимные превращения. Главная цель физики – выявить и объяснить законы природы, которыми определяются все физические явления. Физика - это наука, в которой создаются представления об единстве всего окружающего нас мира. Занимая центральное место среди других наук в объяснении законов природы, физика играет первостепенную роль в формировании научного материалистического мировоззрения, целостной физической картины окружающего нас мира.

Основными задачами курса физики в вузах являются:

1. Формирование у студентов диалектико-материалистических представлений о явлениях и процессах, происходящих в природе, что способствует развитию научного мышления, в частности, правильного понимания границ применимости различных физических понятий, законов, теорий и умения оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных методов исследования. Конкретные физические примеры как нельзя лучше убеждают в том, что знание философии, повседневное применение ее

законов являются одним из существенных залогов успешного развития науки и техники, прогресса человеческого общества.

2. Усвоение основных физических явлений, их механизмов, законов классической и современной физики, методов физического исследования - теоретического фундамента будущей специальности студентов. Эти знания позволят будущим инженерам ориентироваться в потоке научной и технической информации и обеспечат им возможность использования новых физических принципов в тех областях техники, в которых они специализируются. Правильное представление о природе физических явлений особенно важно при постановке новых вопросов, которые всегда возникают в процессе практической деятельности инженера.
3. Выработка у студентов приемов и навыков решения конкретных задач из разных областей физики, помогающих студентам в дальнейшем решать инженерные задачи.
4. Ознакомление студентов с научной аппаратурой, выработка у студентов начальных навыков проведения экспериментальных исследований различных физических явлений и оценки погрешностей измерений.

Цель настоящего учебно-методического пособия – оказать помощь студентам-заочникам инженерно-технических специальностей вуза в изучении курса физики.

Общие методические указания

Основной формой обучения студента – заочника является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы кафедра физики организует чтение лекций, проведение практических занятий и лабораторных работ. Поэтому процесс изучения физики состоит из следующих этапов: 1) проработка установочных и обзорных лекций; 2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями; 3) выполнение контрольных работ; 4) прохождение лабораторного практикума; 5) сдача зачетов и экзаменов.

При самостоятельной работе над учебным материалом необходимо:

- 1) составлять конспект, в котором записывать законы и формулы, выражающие эти законы, определения основных физических понятий и сущность физических явлений и методов исследования;
- 2) изучать курс физики систематически, т. к. в противном случае материал будет усвоен поверхностно;
- 3) стараться пользоваться каким-то одним учебником или учебным пособием (или ограниченным числом пособий), чтобы не утрачивалась логическая связь между отдельными вопросами, по крайней мере, внутри какого-то определенного раздела курса.

Контрольные работы позволяют закрепить теоретический материал курса. В процессе изучения физики студент должен выполнить столько контрольных работ, сколько предусмотрено учебными планами по курсу для специальности, на которой он обучается. Решение задач в контрольных работах является проверкой степени усвоения студентом теоретического курса, а рецензии на работу помогают ему доработать и правильно освоить различные разделы курса физики. Перед выполнением контрольной работы студенту необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач по данной контрольной работе, уравнениями и формулами, а также со справочными материалами. Прежде чем приступить к решению той или иной задачи, студент должен хорошо понять ее содержание и поставленные в ней вопросы.

Вариант контрольной работы соответствует последней цифре студенческого билета (зачетной книжки). Определение задач, соответствующих варианту, проводится по единой таблице вариантов.

Вариант	Номера задач в контрольной работе					
1	1	11	21	31	41	51
2	2	12	22	32	42	52
3	3	13	23	33	43	53
4	4	14	24	34	44	54
5	5	15	25	35	45	55

6	6	16	26	36	46	56
7	7	17	27	37	47	57
8	8	18	28	38	48	58
9	9	19	29	39	49	59
10	10	20	30	40	50	60

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) контрольную работу выполнять в тетради;
- 2) на титульном листе указывать номер контрольной работы, номер варианта (последняя цифра номера студенческого билета), наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр специальности и номер группы;
- 3) контрольную работу следует выполнять аккуратно, оставляя поля для замечаний рецензента;
- 4) задачу своего варианта переписывать полностью без сокращений, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые величины должны быть переведены в систему СИ;
- 5) для пояснения решения задачи, где это нужно, аккуратно сделать чертеж;
- 6) решение задач и используемые формулы должны сопровождаться краткими пояснениями, в пояснениях к задаче необходимо указывать те основные формулы и законы, на которых базируется решение данной задачи;
- 7) решение задачи необходимо сначала сделать в общем виде, т. е. только в буквенных обозначениях, поясняя применяемые при написании формул буквенные обозначения; при получении расчетной формулы, которая нужна для решения конкретной задачи, обязательно приводить ее вывод;
- 8) вычисления следует проводить путем подстановки заданных числовых величин в расчетную формулу; все числовые значения величин, необходимые для решения данной задачи, должны быть выражены в системе СИ;

- 9) проверить единицы измерения величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить правильность ее;
- 10) константы (постоянные) физических величин и другие справочные данные выбираются из таблиц;
- 11) при вычислениях используйте микрокалькулятор, точность расчета определяется числом значащих цифр исходных данных;
- 12) в контрольной работе следует указывать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач;
- 13) если контрольная работа преподавателем не зачтена, то необходимые дополнения и исправления следует выполнять в той же тетради в конце работы; исправления в тексте незачтенной задачи не допускаются;
- 14) буквенные обозначения величин, используемые при решении задач, должны соответствовать общепринятым;
- 15) контрольная работа сдается на проверку не позднее, чем за месяц до начала экзаменационной сессии; сдача работ в период сессии не допускается.

Контрольные работы, представленные без соблюдения указанных правил, а также работы, выполненные не по своему варианту, рассматриваться не будут.

При возвращении работы на повторное рецензирование обязательно представлять работу с первой рецензией.

Во время экзаменационно-лабораторных сессий проводятся лабораторные работы. Цель лабораторного практикума заключается в приобретении соответствующих навыков в проведении физических экспериментов, в обращении с физическими приборами, в опытной проверке основных физических законов, что способствует более глубокому овладению теоретическим материалом.

На экзаменах и зачетах в первую очередь выясняется усвоение основных теоретических положений программы и умение творчески применять полученные знания к решению практических задач. Физическая сущность явлений, законов, процессов должна излагаться четко и достаточно подробно; решать задачи необходимо без ошибок и уверенно. Любая графическая работа должна быть выпол-

нена аккуратно и четко. Только при выполнении этих условий знания по курсу физики могут быть признаны удовлетворительными.

Литература

Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. шк., 1985 и др.

Шубин А.С. Курс общей физики. М.: Высш. шк., 1976.

Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. М.: Наука, 1989 и др.

Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высш. шк., 1989 и др.

Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М.: Высш. шк., 1981 и др.

Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики. М.: Высш. шк., 1996 и др.

Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. М.: Высш. шк., 1978.

Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1985.

Кибец И.Н., Кибец В.И. Физика: Справочник. Харьков: Фолио; Ростов н/Д: Феникс, 1997.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Содержание рабочей программы определено Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования Российской Федерации.

Введение

Предмет физики. Методы физического исследования: опыт, гипотеза, эксперимент, теория. Физика как часть общечеловеческой культуры. Роль физики в развитии техники и влияние техники на развитие физики. Связь физики с философией и другими науками. Роль физики в становлении инженера.

Физические основы механики

Механическое движение как простейшая форма движения материи. Кинематика материальной точки. Пространство и время. Система отсчета. Путь и перемещение. Скорость и ускорение (нормальное, тангенциальное и полное).

Динамика поступательного движения. Закон инерции. Инерциальные системы отсчета. Основные понятия: масса, сила, импульс тела, импульс силы. Второй закон Ньютона. Виды взаимодействий. Третий закон Ньютона. Внешние и внутренние силы. Закон сохранения импульса для замкнутой системы тел. Центр масс и закон его движения.

Работа и энергия. Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Работа переменной силы. Кинетическая энергия механической системы. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия и ее связь с силой, действующей на материальную точку. Понятие о градиенте скалярной функции координат. Механическая энергия системы. Закон сохранения энергии в механике. Применение законов сохранения к абсолютно упругому и неупругому ударам тел.

Кинематика вращательного движения. Основные понятия: угловое перемещение, угловая скорость, угловое ускорение, их связь с соответствующими линейными характеристиками.

Динамика вращательного движения. Момент инерции, момент силы, момент импульса. Основной закон динамики вращательного движения. Закон сохранения момента импульса. Работа и кинетическая энергия вращающегося тела.

Движение в неинерциальных системах отсчета. Силы инерции.

Механические гармонические колебания и их характеристики. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Энергия гармонических колебаний. Математический и физический маятники. Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты. Биения. Сложение взаимноперпендикулярных колебаний. Собственные (незатухающие), затухающие и вынужденные механические колебания. Дифференциальные уравнения колебаний, их решения. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Явление резонанса.

Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Уравнение бегущей волны. Волновое уравнение. Стоячие волны, уравнение стоячей волны и его анализ. Энергия волн. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга.

Преобразования Галилея. Механический принцип относительности. Классический закон сложения скоростей. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Относительность длин и промежутков времени. Релятивистский закон сложения скоростей. Пространственно-временной интервал и его инвариантность. Взаимосвязь массы и энергии. Основной закон динамики в релятивистской механике. Границы применимости классической механики.

Примерная схема решения задач

К сожалению, не существует единого алгоритма, который позволил бы решить любую физическую задачу. Однако, можно рекомендовать определенную последовательность при решении задач.

Приступая к решению задач по какому-либо разделу, необходимо ознакомиться по учебной литературе и данному методическому пособию с конкретными понятиями и соотношениями этого раздела. Разобрать приведенные в пособии примеры решения задач изучаемого раздела.

При решении задач целесообразно придерживаться следующей схемы:

- 1) по условию задачи представьте себе физическое явление, о котором идет речь. Сделайте краткую запись условия, выразив исходные данные в единицах СИ;
- 2) сделайте, если это необходимо чертеж, схему или рисунок, поясняющий описанный в задаче процесс;
- 3) напишите уравнения или систему уравнений, отображающие физический процесс;
- 4) используя чертежи и условие задачи, преобразуйте уравнения так, чтобы в них входили лишь исходные данные и табличные величины;
- 5) решив задачу в общем виде, проверьте ответ по равенству размерностей величин, входящих в расчетную формулу;
- 6) произведите вычисления и, получив числовой ответ, оцените его реальность.

Задачи для самостоятельного решения

1. Зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением $s=A+Bt+Ct^2+Dt^3$, где $C=0,14$ м/с², $D=0,01$ м/с³. Через какое время после начала движения тело будет иметь ускорение $a=1$ м/с²? Найти среднее ускорение тела за этот промежуток времени. (12 с; 0,64 м/с²)
2. Точка движется по окружности радиусом 1 м согласно уравнению $s=8t-0,2t^3$. Найти скорость, тангенциальное, нормальное и полное ускорение в момент времени 2 с. (5,6 м/с; 31,36 м/с²; -2,4 м/с²; 31,45 м/с²)
3. Вентилятор вращается с частотой 900 об/мин. После выключения вентилятора, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки 75 об. Какое время

- прошло с момента выключения вентилятора до полной его остановки?
(10 с)
4. При какой относительной скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составит 50%? (0,87·с)
 5. Собственное время жизни π -мезона $2,6 \cdot 10^{-8}$ с. Чему равно время жизни π -мезона для наблюдателя, относительно которого эта частица движется со скоростью $0,95 \cdot c$? ($8,33 \cdot 10^{-8}$ с)
 6. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями $0,9 \cdot c$. Определить скорость их относительного движения. (0,994·с)
 7. Материальная точка массой 20 г движется по окружности радиусом 10 см с постоянным тангенциальным ускорением. К концу пятого оборота после начала движения кинетическая энергия материальной точки оказалась равной 6,3 мДж. Определить тангенциальное ускорение. (0,1 м/с²)
 8. Шар массой 4 кг движется со скоростью 2 м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой 1 кг. Вычислить работу, совершенную вследствие деформации шаров при прямом центральном ударе. Шары считать неупругими. (1,6 Дж)
 9. Камень падает с некоторой высоты в течение времени 1,43 с. Найти кинетическую и потенциальную энергии камня в средней точке пути. Масса камня 2 кг. (102 Дж; 102 Дж)
 10. Определить работу, совершаемую при подъеме груза массой 50 кг по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту на расстояние 4 м, если время подъема 2 с, а коэффициент трения 0,06. (1504 Дж)
 11. Сплошной шар скатывается по наклонной плоскости, длина которой 10 м и угол наклона 30° . Определить скорость шара в конце наклонной плоскости. (8,45 м/с)
 12. Маховик, имеющий форму диска массой 30 кг и радиусом 10 см, был раскручен до частоты 300 мин^{-1} . Под действием силы трения диск остановился через 20 с. Найти момент силы трения, считая его постоянным. (0,24 Н·м)
 13. Какой скоростью должен обладать шар, катящийся без скольжения, чтобы подняться по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 30° , на высоту 2 м, если сила сопротивления равна 0,2 веса шара? Чему равно время подъема? (6,3 м/с; 1,3 с)
 14. Маховик и легкий шкив насажены на горизонтальную ось. К шкиву с помощью нити привязан груз, который, опускаясь равноускоренно, прошел 2 м за 4 с. Момент инерции маховика $0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Определить массу груза, если радиус шкива 6 см. Массой шкива пренебречь. (0,356 кг)
 15. Материальная точка, масса которой 4 г, колеблется с амплитудой 4 см и частотой 0,5 Гц. Какова скорость точки в положении, где смещение 2 см? (0,11 м/с)
 16. Амплитуда колебания груза, подвешенного на пружине, 2 см, максимальная кинетическая энергия 0,4 Дж. Определить жесткость пружины. (2000 Н/м)

17. Тонкий обруч радиусом 50 см подвешен на вбитый в стену гвоздь и колеблется в плоскости, параллельно стене. Определить период колебаний обруча. (2 с)

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

ПОЯСНЕНИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ

Механика – это наука о простейших формах движения материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между телами. Движение всегда существует в пространстве и во времени. Пространство и время являются основными формами существования материи. Предметом классической механики является движение макроскопических материальных тел, совершаемое со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света в вакууме. Механика подразделяется на 1) кинематику; 2) динамику; 3) статику.

При решении задач по кинематике студент должен уметь записывать закон движения материальной точки, определяющий ее положение в любой момент времени. Используя математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, студент должен научиться определять мгновенные скорость и ускорение по заданной зависимости координаты от времени и решать обратные задачи.

Для решения задач динамики материальной точки и поступательного движения твердого тела студент должен уметь составлять их уравнение движения, выражающее второй закон Ньютона. Для этого необходимо: 1) сделать чертеж и изобразить на нем все силы, действующие на тело; 2) записать уравнение движения в векторной форме; 3) выбрать оси координат и найти проекции уравнения на выбранные оси; 4) если в задаче рассматривается движение системы связанных между собой тел, то уравнение движения надо записать для каждого тела в отдельности; кроме того, надо записать уравнения, выражающие кинематические условия, связывающие ускорения отдельных тел системы; 5) число полученных уравнений должно быть равно числу неизвестных.

Задачи на динамику охватывают также такие вопросы, как закон движения центра масс механической системы, закон сохранения количества движения, работа силы и ее выражение через интеграл, связь кинетической энергии механической системы с работой сил, приложенных к этой системе, закон сохранения и изменения механической энергии. Тщательного изучения и понимания требуют вопросы о поле как форме материи, осуществляющей взаимодействие между частицами вещества или телами, о потенциальной энергии материальной точки во внешнем поле и потенциальной энергии механической системы.

В задачах на кинематику и динамику вращательного движения твердого тела главное внимание необходимо уделить изучению соотношений между линейными и угловыми характеристиками, понятием момента силы, момента инерции тела, закона сохранения момента количества движения и механической энергии.

Задачи на механические колебания охватывают такие вопросы, как определение амплитуды, скорости, ускорения, энергии при механических колебаниях. Волновые процессы представлены задачами, в которых определяются период, длина, скорость распространения, энергия и объемная плотность энергии механических волн.

В контрольную работу включены задачи по элементам теории относительности, которые охватывают следующие вопросы: относительность одновременности, длин и промежутков времени, релятивистский закон сложения скоростей, зависимость релятивистской массы от скорости, соотношение между релятивистской массой и полной энергией. Решая эти задачи, студент должен усвоить, что законы классической механики имеют границу применимости, и что они получаются как следствие теории относительности.

Основные законы и формулы

Мгновенная скорость	$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ или $v = \frac{ds}{dt}$
Мгновенное ускорение	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$
Тангенциальное ускорение	$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$
Нормальное ускорение	$a_n = \frac{v^2}{R}$
Полное ускорение	$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$; $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$
Уравнения равнопеременного поступательного движения	$v = v_0 + at$ $s = v_0t + \frac{at^2}{2}$
Угловая скорость	$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$
Угловая скорость для равномерного вращательного движения	$\omega = \frac{\varphi}{t}$ или $\omega = 2\pi \cdot n$
Угловое ускорение	$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2}$
Уравнения равнопеременного вращательного движения	$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$ $\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$
Связь между линейными и угловыми характеристиками вращательного движения	$S = \varphi R$, $v = \omega R$ $a_\tau = \varepsilon R$, $a_n = \omega^2 R$
Второй закон Ньютона для поступательного движения	$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt}$
Второй закон Ньютона для поступательного движения при $m = \text{const}$	$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$
Импульс материальной точки массы m , движущейся со скоростью v	$\vec{p} = m\vec{v}$
Закон сохранения импульса для замкнутой системы тел	$\vec{p}_c = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}$
Сила трения (скольжения)	$F_{\text{тр}} = kN$
Работа переменной силы на пути s	$A = \int_s F \cos \alpha ds$
Мощность	$N = \frac{dA}{dt} = Fv \cos \alpha$
Сила упругости	$F_{\text{упр}} = -k\Delta x$

Сила гравитационного взаимодействия	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
Потенциальная энергия упруго-деформированного тела	$\Pi = \frac{k \Delta x^2}{2}$
Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия тела, находящегося в однородном поле тяжести	$\Pi = mgh$
Кинетическая энергия тела	$K = \frac{mv^2}{2}$
Закон сохранения механической энергии	$E = K + \Pi = \text{const}$
Момент инерции материальной точки	$J = mr^2$
Моменты инерции некоторых тел массой m : сплошного цилиндра (диска) радиуса R относительно оси вращения, совпадающей с осью цилиндра	$J = \frac{mR^2}{2}$
полого цилиндра радиуса R относительно оси вращения, совпадающей с осью цилиндра	$J = mR^2$
шара радиуса R относительно оси вращения, проходящей через центр масс шара	$J = \frac{2}{5} mR^2$
тонкого стержня длиной l , если ось вращения перпендикулярна стержню и проходит через центр масс стержня	$J = \frac{1}{12} ml^2$
тонкого стержня длиной l , если ось вращения перпендикулярна стержню и проходит через один из концов стержня	$J = \frac{1}{3} ml^2$
тела относительно произвольной оси (теорема Штейнера)	$J = J_0 + ma^2$
Момент силы относительно оси вращения	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$
Основное уравнение динамики вращательного движения	$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt}$
Основное уравнение динамики вращательного движения при $J = \text{const}$	$\vec{M} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt} = J\vec{\varepsilon}$
Момент импульса твердого тела относительно оси вращения	$\vec{L} = J\vec{\omega}$
Закон сохранения момента импульса для изолированной системы	$\vec{L}_c = \sum_{i=1}^n J_i \vec{\omega}_i = \text{const}$
Кинетическая энергия вращающегося тела	$K = \frac{J\omega^2}{2}$
Работа при вращательном движении	$dA = M d\varphi$
Зависимость длины тела и времени от скорости	$l = l_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2}$

в релятивистской механике	$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$
Зависимость массы частицы от скорости v , сравнимой со скоростью света	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$
Энергия покоя частицы	$E_0 = m_0 c^2$
Полная энергия частицы, движущейся со скоростью v , сравнимой со скоростью света	$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$
Кинетическая энергия релятивистской частицы	$K = E - E_0 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1 \right)$
Теорема сложения скоростей в теории относительности	$u' = \frac{u+v}{1+uv/c^2}$
Уравнение гармонического колебания	$s = A \sin(\omega t + \varphi_0)$
Скорость колеблющейся материальной точки	$v = \omega A \cos(\omega t + \varphi_0)$
Ускорение колеблющейся материальной точки	$a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi_0)$
Период колебаний пружинного маятника	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
Период колебаний математического маятника	$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$
Полная энергия при гармоническом колебании	$E = \frac{m\omega^2 A^2}{2}$
Длина волны	$\lambda = vT$
Уравнение бегущей волны	$\xi = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right)$

Примеры решения задач

1. Частица движется вдоль прямой по закону $x=A+Bt+Ct^3$, где $A=3$ м, $B=2,5$ м/с, $C=0,25$ м/с³. Найти средние значения скорости и ускорения за интервал времени от $t_1=1$ с до $t_2=6$ с.

Дано:

$$x=A+Bt+Ct^3$$

$$A=3 \text{ м}$$

$$B=2,5 \text{ м/с}$$

$$C=0,25 \text{ м/с}^3$$

$$t_1=1 \text{ с}$$

$$t_2=6 \text{ с}$$

Решение:

Средняя скорость это отношение перемещения к промежутку времени, за которое это перемещение произошло, тогда модуль средней скорости равен:

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}, \text{ где}$$

$$x_1 = A + Bt_1 + Ct_1^3 = 3 + 2,5 \cdot 1 + 0,25 \cdot 1^3 = 5,75 \text{ м}$$

Найти: $\langle v \rangle$ - ? $\langle a \rangle$ - ?

$$x_2 = A + Bt_2 + Ct_2^3 = 3 + 2,5 \cdot 6 + 0,25 \cdot 6^3 = 72 \text{ м}$$

$$\text{Средняя скорость: } \langle v \rangle = \frac{72 - 5,75}{6 - 1} = 13,25 \text{ м/с}$$

Среднее ускорение это отношение изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло, тогда модуль среднего ускорения равен:

$$\langle a \rangle = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}, \text{ где}$$

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

$$v_1 = B + 3Ct_1^2 = 2,5 + 3 \cdot 0,25 \cdot 1^2 = 3,25 \text{ м/с}$$

$$v_2 = B + 3Ct_2^2 = 2,5 + 3 \cdot 0,25 \cdot 6^2 = 29,5 \text{ м/с}$$

$$\text{Среднее ускорение: } \langle a \rangle = \frac{29,5 - 3,25}{6 - 1} = 5,25 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $\langle v \rangle = 13,25 \text{ м/с}$; $\langle a \rangle = 5,25 \text{ м/с}^2$.

2. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = 10 + 20t - 2t^2$. Найти по величине и направлению полное ускорение точки, находящейся на расстоянии $r = 0,1$ м от оси вращения, для момента времени $t = 4$ с.

Дано:

$$\varphi = 10 + 20t - 2t^2$$

$$r = 0,1 \text{ м}$$

$$t = 4 \text{ с}$$

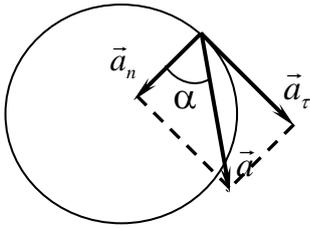
Решение:

Угловая скорость ω вращающегося тела равна первой производной от угла поворота от времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = 20 - 4t$$

$$\text{В момент времени } t = 4 \text{ с: } \quad \omega = 20 - 4 \cdot 4 = 4 \text{ рад/с}$$

Найти: a - ?



Угловое ускорение ε вращающегося тела равно первой производной от угловой скорости по времени:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = -4 \text{ рад/с}^2$$

Материальная точка, принадлежащая телу, движется по окружности радиуса r . Движение материальной точки ускоренное с постоянным угловым ускорением ($\varepsilon = \text{const}$).

Следовательно, тангенциальное ускорение a_τ будет постоянным, а нормальное ускорение a_n непрерывно возрастает со временем, т.е. вектор полного ускорения точки со временем изменяется как по модулю, так и по направлению.

Полное ускорение точки, движущейся по окружности, может быть найдено как геометрическая сумма тангенциального ускорения \vec{a}_τ , направленного по касательной к траектории и нормального ускорения \vec{a}_n , направленного к центру кривизны траектории. Модуль полного ускорения:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \quad (1)$$

Тангенциальное ускорение точки вращающегося тела выражается формулой:

$$a_\tau = \varepsilon \cdot r, \quad (2)$$

где ε - угловое ускорение тела.

Нормальное ускорение точки вращающегося тела выражается формулой:

$$a_n = \omega^2 r, \quad (3)$$

где ω - угловая скорость тела.

Подставив выражения (2) и (3) в формулу (1), получаем

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 r^2 + \omega^4 r^2} \quad (4)$$

Подставив найденные значения ω и ε и заданное значение r в формулу (4), получим:

$$a = 0,1\sqrt{16 + 256} = 1,65 \text{ м/с}^2$$

Направление полного ускорения определится, если найти угол, который вектор ускорения образует с нормалью к траектории (см. рис.):

$$\cos \alpha = \frac{|a_n|}{a} \quad \text{или} \quad \sin \alpha = \frac{|a_\tau|}{a} \quad (5)$$

По формулам (2) и (3) найдем значения a_τ и a_n :

$$a_\tau = -0,4 \text{ м/с}^2, \quad a_n = 1,6 \text{ м/с}^2.$$

Подставив эти значения и значение полного ускорения в формулы (5), получим: $\cos \alpha = 0,97$, $\sin \alpha = 0,24$.

Пользуясь тригонометрическими таблицами или калькулятором, найдем значение угла α : $\alpha \approx 14^\circ$.

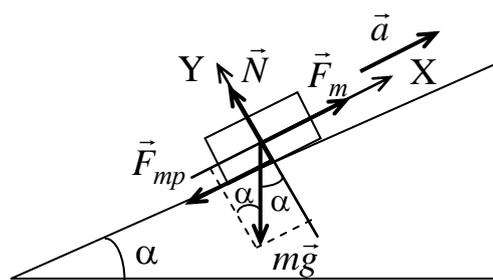
Ответ: $a=1,65 \text{ м/с}^2$, $\alpha \approx 14^\circ$.

3. Автомашина массой $m=1,8 \text{ т}$ движется в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути, и за 5 мин преодолевает путь $S=5 \text{ км}$. Определить: 1) работу, совершаемую двигателем автомашины, если коэффициент трения равен 0,1; 2) развиваемую двигателем мощность.

Дано:

$m=1,8 \text{ т}=1800 \text{ кг}$
 $h=3 \text{ м}$
 $l=100 \text{ м}$
 $t=5 \text{ мин}=300 \text{ с}$
 $S=5 \text{ км}=5000 \text{ м}$
 $\mu=0,1$

Решение:



Сделаем рисунок. Покажем, какие силы действуют на автомашину.

Найти:

А-? Р-?

Уравнение движения автомашины в векторной форме:

$$m\vec{a} = \vec{F}_m + \vec{F}_{mp} + \vec{N} + m\vec{g}$$

Запишем это уравнение в проекциях на оси x и y (см. рис.):

$$\text{оx: } ma = F_m - F_{mp} - mg \sin \alpha$$

$$\text{оу: } 0 = N - mg \cos \alpha$$

Из последнего $N = mg \cos \alpha$, тогда $F_{mp} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$.

Сила тяги двигателя автомашины будет равна:

$$F_m = ma + \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha$$

Работа, совершаемая двигателем автомашины:

$$A = F_m S = m(a + \mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) S, \text{ где}$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}, \cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{h}{l}\right)^2}, a = \frac{2S}{t^2}$$

Подставляем числовые значения и получаем:

$$A = 1800 \cdot \left(\frac{2 \cdot 5000}{90000} + 0,1 \cdot 10 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{3}{100}\right)^2} + 10 \cdot \frac{3}{100} \right) \cdot 5000 =$$

$$= 12,7 \text{ МДж}$$

Средняя мощность, развиваемая двигателем автомашины:

$$\langle P \rangle = \frac{A}{t} = \frac{12,7 \cdot 10^6}{300} = 42 \text{ кВт}$$

Максимальная мощность, развиваемая двигателем автомашины:

$$P_{\max} = F_m v_{\max}, \text{ где } v_{\max} = at = \frac{2S}{t}$$

Подставляем числовые значения и получаем:

$$P_{\max} = 84 \text{ кВт}$$

Ответ: $A=12,7 \text{ МДж}$; $\langle P \rangle=42 \text{ кВт}$; $P_{\max}=84 \text{ кВт}$.

4. Шар массой $m_1=3 \text{ кг}$ движется со скоростью $v_1=2 \text{ м/с}$ и сталкивается с покоящимся шаром массой $m_2=5 \text{ кг}$. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.

Дано:

$$\begin{aligned} m_1 &= 3 \text{ кг} \\ v_1 &= 2 \text{ м/с} \\ m_2 &= 5 \text{ кг} \end{aligned}$$

Найти:
A - ?

Решение:

Работа будет равна изменению кинетической энергии системы:

$$A = W_1 - W_2, \quad (1)$$

где кинетическая энергия шаров до столкновения:

$$W_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2} \quad (2)$$

Она равна кинетической энергии первого шара, т.к. второй шар покоится.

$$W_2 = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} \quad (3)$$

кинетическая энергия шаров после столкновения. Здесь скорость u – скорость системы двух шаров после столкновения. Для ее определения воспользуемся законом сохранения импульса:

$$\begin{aligned} m_1 v_1 &= (m_1 + m_2)u \\ u &= \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} \end{aligned} \quad (4)$$

Из выражений (1) – (4) окончательно получаем:

$$A = W_1 - W_2 = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1^2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)}$$

Подставляем числовые значения и получаем:

$$A = \frac{3 \cdot 4}{2} - \frac{9 \cdot 4}{2(3 + 5)} = 3,75 \text{ Дж}$$

Ответ: $A=3,74 \text{ Дж}$

5. Камень брошен со скоростью $v_0=15 \text{ м/с}$ под углом $\alpha=60^\circ$ к горизонту. Найти кинетическую, потенциальную и полную энергии камня: а) через 1 с после начала движения; б) в высшей точке траектории. Масса камня $m=0,2 \text{ кг}$.

Дано:

$$v_0 = 15 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$m = 0,2 \text{ кг}$$

Найти:

$$W_k - ? \quad W_n - ? \quad W - ?$$

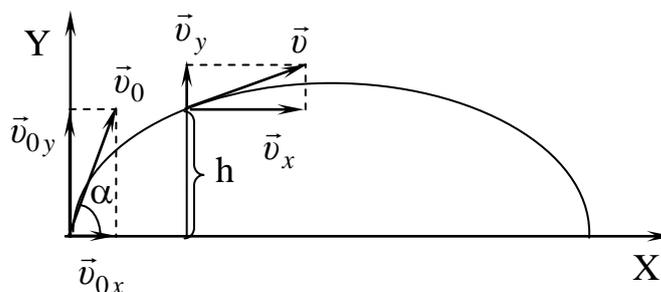
Решение:

Движение камня сложное, криволинейное: вдоль оси ОХ равномерное с постоянной скоростью

$$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

а вдоль оси ОУ равнопеременное с постоянным ускорением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

$$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - gt \quad (2)$$



Через $t=1$ с скорость камня будет равна:

$$v = \sqrt{(v_x)^2 + (v_y)^2} \quad (3)$$

Кинетическая энергия камня через $t=1$ с будет равна:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m \cdot ((v_0 \cdot \cos \alpha)^2 + (v_0 \cdot \sin \alpha - gt)^2)}{2} =$$

$$\frac{0,2 \cdot ((15 \cdot 0,5)^2 + (15 \cdot 0,85 - 10 \cdot 1)^2)}{2} = 6,5 \text{ Дж}$$

Найдем на какой высоте окажется камень через $t=1$ с:

$$h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 15 \cdot 0,85 \cdot 1 - \frac{10 \cdot 1}{2} = 8 \text{ м}$$

Тогда потенциальная энергия камня в этот момент равна:

$$W_n = mgh = 0,2 \cdot 10 \cdot 8 = 16 \text{ Дж}$$

Полная механическая энергия камня через $t=1$ с равна:

$$W = W_k + W_n = 6,5 + 16 = 22,5 \text{ Дж}$$

В верхней точке траектории $v_y = 0$, следовательно, полная скорость в этой точке равна: $v = v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$.

Тогда кинетическая энергия в верхней точке траектории равна:

$$W_k = \frac{m(v_0 \cdot \cos \alpha)^2}{2} = \frac{0,2 \cdot (15 \cdot 0,5)^2}{2} = 5,6 \text{ Дж}$$

Чтобы найти потенциальную энергию в верхней точке траектории, найдем максимальную высоту подъема.

Для этого найдем время подъема. В верхней точке траектории $v_y = 0$, следовательно,

$$v_0 \cdot \sin \alpha - gt_n = 0$$

Отсюда получаем время подъема:

$$t_n = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

Зная время подъема, можно найти максимальную высоту подъема:

$$h_{\max} = v_0 \sin \alpha \cdot t_n - \frac{gt_n^2}{2}$$

$$h_{\max} = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g(v_0 \sin \alpha)^2}{2g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Найдем потенциальную энергию в верхней точке траектории:

$$\begin{aligned} W_n = mgh_{\max} &= \frac{mgv_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{mv_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2} = \\ &= \frac{0,2 \cdot 225 \cdot 0,75}{2} = 16,9 \text{ Дж} \end{aligned}$$

Полная механическая энергия камня в верхней точке траектории равна:

$$W = W_k + W_n = 5,6 + 16,9 = 22,5 \text{ Дж}$$

Видно, что выполняется закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия камня в верхней точке траектории равна полной механической энергии камня через 1 с после начала полета.

Ответ: $W_k=5,6$ Дж; $W_n=16,9$ Дж; $W=22,5$ Дж.

6. Две гири с массами $m_1=2$ кг и $m_2=1$ кг соединены нитью, перекинутой через блок массой $m=1$ кг. Найти ускорение, с которым движутся гири, и силы натяжения нитей, к которым подвешены гири. Блок считать однородным диском. Трением пренебречь.

Дано:

$$m_1=2 \text{ кг}$$

$$m_2=1 \text{ кг}$$

$$m=1 \text{ кг}$$

Найти:

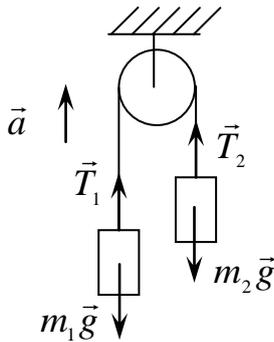
$$a - ? \quad T_1 - ? \quad T_2 - ?$$

Решение:

Запишем уравнения движения гирь:

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

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



Запишем эти уравнения в проекциях на ось Y:

$$m_1 a = T_1 - m_1 g \quad (1)$$

$$m_2 a = m_2 g - T_2 \quad (2)$$

Нить будет натянута по обе стороны блока по-разному, и разность сил натяжения будет создавать момент сил, вращающий блок.

Запишем основной закон динамики:

$$(T_1 - T_2)R = J\varepsilon, \quad (3)$$

где $\varepsilon = \frac{a}{R}$, а $J = \frac{mR^2}{2}$ - момент инерции блока.

Решая (1) - (3) совместно, найдем

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1 + m_2 + m/2} = 2,8 \text{ м/с}^2 \quad (4)$$

Подставляя (4) в (1) и (2), получим

$$T_1 = \frac{m_1 g (2m_2 + m/2)}{m_1 + m_2 + m/2} = 14 \text{ Н}$$

$$T_2 = \frac{m_2 g (2m_1 + m/2)}{m_1 + m_2 + m/2} = 12,6 \text{ Н}$$

Ответ: $a=2,8 \text{ м/с}^2$; $T_1=14 \text{ Н}$; $T_2=12,6 \text{ Н}$.

7. Платформа в виде диска радиусом $R=1,5 \text{ м}$ и массой $m_1=180 \text{ кг}$ вращается по инерции вокруг вертикальной оси, делая $n=1/6 \text{ с}^{-1}$. В центре платформы стоит человек массой $m_2=60 \text{ кг}$. Какую линейную скорость относительно пола помещения будет иметь человек, если он перейдет на край платформы?

Дано:

$R=1,5 \text{ м}$
 $m_1=180 \text{ кг}$
 $n=1/6 \text{ с}^{-1}$
 $m_2=60 \text{ кг}$

Найти:

$v - ?$

Решение:

По закону сохранения момента импульса:

$$(J_{пл} + J_{чел})\omega_1 = (J_{пл} + J_{чел}^1)\omega_2, \quad (1)$$

где $J_{пл}$, $J_{чел}$ – моменты инерции платформы и стоящего в ее центре человека; ω_1 – угловая скорость платформы с человеком, стоящим в ее центре; $J_{чел}^1$ – момент инерции человека, стоящего на краю платформы; ω_2 – угловая скорость платформы с человеком, стоящим на ее краю.

Линейная скорость человека, стоящего на краю платформы, связана с угловой скоростью соотношением:

$$v = \omega_2 R \quad (2)$$

Определив из уравнения (1) ω_2 и подставив полученное выражение в (2), будем иметь:

$$v = \frac{J_{пл} + J_{чел}}{J_{пл} + J_{чел}^1} \omega_1 R \quad (3)$$

Момент инерции платформы определим как для диска:

$$J_{пл} = \frac{1}{2} m_1 R^2$$

Момент инерции человека рассчитываем как для материальной точки:

$$J_{чел} = 0, \quad J_{чел}^1 = m_2 R^2$$

Угловая скорость платформы до перехода человека из центра на край платформы: $\omega = 2\pi n$.

Заменив в формуле (3) величины $J_{пл}$, $J_{чел}$, $J_{чел}^1$, и ω_2 их выражениями, получим:

$$v = \frac{0,5m_1 R^2}{(0,5m_1 + m_2) R^2} 2\pi n R = \frac{m_1}{m_1 + 2m_2} \pi n R$$

Подставляем числовые значения и получаем:

$$v = \frac{180}{180 + 2 \cdot 60} 3,14 \cdot \frac{1}{6} \cdot 1,5 = 1 \text{ м/с}$$

Ответ: $v=1$ м/с.

8. К пружине подвешен груз массой $m=10$ кг, который совершает колебания с амплитудой 5 см. Зная, что пружина под влиянием силы $F=9,8$ Н растягивается на $l=1,5$ см, найти: частоту, период и циклическую частоту вертикальных колебаний пружины, жесткость пружины, полную энергию, максимальную скорость и максимальное ускорение.

Дано:

$m=10$ кг
 $A=5$ см= $0,05$ м
 $F=9,8$ Н
 $l=1,5$ см= $0,015$ м

Найти:

ν - ? T - ? ω - ?
 k - ? W - ? v_{\max} - ?
 a_{\max} - ?

Решение:

Уравнение гармонических колебаний пружинного маятника имеет вид:

$$s = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

где s – смещение маятника от положения равновесия;

A – амплитуда колебаний; $\omega=2\pi\nu$ – циклическая частота;

$\nu = \frac{1}{T}$ – частота колебаний; T – период колебаний; φ_0 – начальная фаза.

Из закона Гука $F=kl$ найдем коэффициент жесткости пружины:

$$k = \frac{F}{l}; \quad k = \frac{9,8}{0,015} = 653 \text{ Н/м}$$

Зная коэффициент жесткости пружины, найдем период колебаний груза на пружине:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}; \quad T = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{10}{653}} = 0,8 \text{ с}$$

Следовательно, частота и циклическая частота соответственно равны:

$$\nu = \frac{1}{T}; \nu = \frac{1}{0,8} = 1,25 \text{ Гц}; \omega = 2\pi\nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,25 = 7,85 \text{ с}^{-1}$$

Скорость колебаний:

$$v = \frac{ds}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (2)$$

где $v_{\max} = A\omega$ - максимальная скорость колебаний.

$$v_{\max} = 0,05 \cdot 7,85 = 0,4 \text{ м/с}$$

Ускорение маятника:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (3)$$

где $a_{\max} = A\omega^2$ - максимальное ускорение.

$$a_{\max} = 0,05 \cdot (7,85)^2 = 3,1 \text{ м/с}^2$$

Полная энергия маятника:

$$W = \frac{mA^2\omega^2}{2}$$

$$W = \frac{10(0,05 \cdot 7,85)^2}{2} = 0,77 \text{ Дж}$$

Ответ: $k=653 \text{ Н/м}; \nu = 1,25 \text{ Гц}; T=0,8 \text{ с}; \omega=7,85 \text{ с}^{-1};$

$v_{\max}=0,4 \text{ м/с}; a_{\max} = 3,1 \text{ м/с}^2; W=0,77 \text{ Дж}.$

9. Волна распространяется в упругой среде со скоростью 150 м/с. Определить частоту колебаний, если минимальное расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны равно 0,75 м.

Дано:

$$v=150 \text{ м/с}$$

$$\Delta x=0,75 \text{ м}$$

Найти:

ν - ?

Решение:

Разность фаз колебаний двух точек волны:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

Отсюда длина волны будет равна: $\lambda = \frac{2\pi\Delta x}{\Delta\varphi}$

По условию задачи $\Delta\varphi=\pi$ - точки колеблются в противоположных фазах. Тогда

$$\lambda = 2 \cdot \Delta x \quad (1)$$

Длина волны связана с частотой соотношением:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (2)$$

Подставляем (1) в (2) и выражаем частоту:

$$\nu = \frac{v}{2\Delta x} = \frac{150}{2 \cdot 0,75} = 100 \text{ Гц}$$

Ответ: $\nu=100 \text{ Гц}$

10. Протон движется со скоростью $0,9 \cdot c$. Найти импульс и кинетическую энергию протона.

Дано:

$$v = 0,9 \cdot c$$

$$m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Найти:

$$p - ? \quad W_k - ?$$

Решение:

Импульс (количество движения) протона:

$$p = mv \quad (1)$$

Так как скорость протона сравнима со скоростью света, то надо учесть зависимость массы от скорости, воспользовавшись релятивистским выражением для массы:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad (2)$$

где m – масса движущегося протона; m_0 – масса покоя протона; v – скорость протона; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Подставляем (2) в (1) и получаем:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 0,9 \cdot 3 \cdot 10^8}{\sqrt{1 - (0,9)^2}} = 10,3 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

В релятивистской механике кинетическая энергия частицы определяется по формуле:

$$W_k = E - E_0, \quad (3)$$

где $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$ – полная энергия протона; $E_0 = m_0 c^2$ –

энергия покоя протона.

Тогда

$$W_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} - 1 \right)$$

$$W_k = 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (0,9)^2}} - 1 \right) = 1,95 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} =$$

$$= \frac{1,95 \cdot 10^{-10}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 12 \cdot 10^9 \text{ ЭВ}$$

Ответ: $p = 10,3 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с; $W_k = 12 \cdot 10^9$ ЭВ

Контрольная работа № 1

1. Поезд, двигаясь равнозамедленно, в течение времени $t=1$ мин уменьшает свою скорость от $v_1=40$ км/ч до $v_2=28$ км/ч. Найти ускорение поезда и расстояние, пройденное им за время торможения.
2. Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону $\vec{r} = 4t^2\vec{i} + 3t\vec{j} + 2\vec{k}$. Определить: 1) скорость \vec{v} ; 2) ускорение \vec{a} ; 3) модуль скорости в момент времени $t=2$ с.
3. Частица движется вдоль прямой по закону $x = A + Bt + Ct^3$, где $A=3$ м, $B=2,5$ м/с, $C=0,25$ м/с³. Найти средние значения скорости и ускорения за интервал времени от $t_1=1$ с до $t_2=6$ с.
4. Точка движется по окружности радиусом $R=2$ см согласно уравнению $S=Ct^3$, где $C=0,1$ см/с³. Найти тангенциальное, нормальное и полное ускорение точки в момент времени, когда линейная скорость точки $v=0,3$ м/с.
5. Тело брошено со скоростью $v_0=10$ м/с под углом $\alpha=45^\circ$ к горизонту. Найти радиус кривизны траектории тела через $t=1$ с после начала движения.
6. Тело движется с ускорением, изменяющимся по закону $a=10t-10$. Определить ускорение тела через 3 с после начала движения и скорость в конце третьей секунды, если $v_0=0$.
7. Тело движется с ускорением, изменяющимся по закону $a=10t-10$. Определить ускорение тела через 5 с после начала движения и путь, пройденный телом за это время, если $v_0=0$.
8. Камень брошен горизонтально со скоростью $v_0=10$ м/с. Определить угол, который составит с вертикалью вектор скорости камня через $t=2$ с после начала движения, а также тангенциальное и нормальное ускорения камня в этот момент.
9. Из вертолета, поднимающегося вверх с ускорением $a=1$ м/с², на высоте $h=450$ м выпал предмет. Определить скорость и время падения предмета.
10. Автомобиль начинает движение и, двигаясь равноускоренно, проезжает путь $S_1=50$ м за время $t_1=10$ с. Сколько времени от начала движения затратит автомобиль, чтобы пройти путь $S_2=450$ м?
11. Колесо радиусом $R=0,5$ м вращается согласно уравнению $\varphi=A\cdot t+B\cdot t^3$, где $A=2$ рад/с, $B=0,2$ рад/с³. Определить линейную скорость и полное ускорение точки, находящейся на ободу колеса в момент времени $t=3$ с.
12. Вал вращается с частотой 180 об/мин. С некоторого момента вал начал вращаться равнозамедленно с угловым ускорением 3 рад/с². Через какое время вал остановится? Сколько он сделает оборотов до остановки?
13. Точка движется по окружности радиусом 20 см с постоянным тангенциальным ускорением. Найти тангенциальное ускорение точки, если известно, что к концу пятого оборота после начала движения линейная скорость точки 79,2 см/с.

14. Колесо, вращаясь равнозамедленно, за время $t=1$ мин уменьшило свою частоту с $n_1=300$ об/мин до $n_2=180$ об/мин. Найти угловое ускорение ε колеса и число оборотов N колеса за это время.
15. Твердое тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi=a \cdot t-b \cdot t^3$, где $a=6$ рад/с, $b=2$ рад/с³. Найти средние значения угловой скорости и углового ускорения за промежуток времени от $t=0$ до остановки.
16. Найти радиус вращающегося колеса, если известно, что линейная скорость v_1 точки, лежащей на ободе, в 2,5 раза больше линейной скорости v_2 точки, лежащей на расстоянии $r=5$ см ближе к оси колеса.
17. Колесо, вращаясь равноускоренно, через время 1 мин после начала вращения приобретает частоту 720 об/мин. Найти угловое ускорение колеса и число оборотов колеса за это время.
18. Уравнение вращения твердого тела имеет вид $\varphi=3 \cdot t^2+t$. Определить частоту вращения, угловую скорость и угловое ускорение твердого тела через 10 с после начала вращения.
19. Уравнение вращения диска радиусом $R=1$ м имеет вид $\varphi=3-t+0,1 \cdot t^3$. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорения точек на ободе диска для момента времени $t=10$ с.
20. Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi=A \cdot t^2$ ($A=0,1$ рад/с²). Определить полное ускорение точки на ободе диска к концу второй секунды после начала движения, если линейная скорость этой точки в этот момент $v=0,4$ м/с.
21. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить, на какой высоте кинетическая энергия тела будет равна его потенциальной энергии.
22. Два шара массами $m_1=9$ кг и $m_2=12$ кг подвешены на нитях длиной 1,5 м. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем меньший шар отклонили на угол $\alpha=30^\circ$ и отпустили. Считая удар неупругим, определить высоту, на которую поднимутся оба шара после удара.
23. Шарик массой $m=0,1$ кг, падая с некоторой высоты, ударяется о наклонную плоскость и упруго отскакивает от нее без потери скорости. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha=30^\circ$. За время удара плоскость получает импульс силы $F\Delta t=1,73$ Н·с. Какое время пройдет от момента удара шарика о плоскость до момента, когда он будет находиться в наивысшей точке траектории.
24. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha=45^\circ$. Пройдя путь $S=36,4$ см, тело приобретает скорость $v=2$ м/с. Найти коэффициент трения тела о плоскость.
25. Конькобежец массой 70 кг, стоя на льду на коньках, бросает в горизонтальном направлении камень массой 3 кг со скоростью 8 м/с. На какое расстояние откатится при этом конькобежец, если коэффициент трения коньков об лед 0,02?

26. Гиря, положенная на верхний конец спиральной пружины, в состоянии равновесия сжимает ее на 10 мм. На сколько сожмет пружину эта же гиря, упавшая на конец пружины с высоты 5 см?
27. Тело массой $m=70$ кг движется под действием постоянной силы $F=63$ Н. Определить на каком пути скорость тела возрастает в 3 раза по сравнению с моментом времени, когда скорость тела была равна $v_0=1,5$ м/с.
28. Брусок массой $m_2=5$ кг может свободно скользить по горизонтальной поверхности без трения. На нем находится другой брусок массой $m_1=1$ кг. Коэффициент трения соприкасающихся поверхностей брусков $\mu=0,3$. Определить минимальное значение силы, приложенной к нижнему бруску, при которой начнется соскальзывание верхнего бруска.
29. Молот массой $m_1=5$ кг ударяет небольшой кусок железа, лежащий на наковальне. Масса наковальни равна $m_2=100$ кг. Массой куска железа пренебречь. Удар неупругий. Определить К.П.Д. удара молота при данных условиях.
30. С башни высотой $h=25$ м горизонтально брошен камень массой $m=0,2$ кг со скоростью $v_0=15$ м/с. Найти кинетическую, потенциальную и полную энергии камня через время $t=1$ с после начала движения.
31. Платформа в виде диска радиусом $R=1$ м вращается по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $n_1=6$ мин⁻¹. На краю платформы стоит человек, масса которого равна $m=80$ кг. С какой частотой n_2 будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции платформы $J=120$ кг·м². Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.
32. Полый цилиндр массой 2 кг катится по горизонтальной поверхности со скоростью 20 м/с. Определить силу, которую необходимо приложить к цилиндру, чтобы остановить его на пути 1,6 м.
33. Каток в виде однородного цилиндра массой $m=2$ кг катится по горизонтальной поверхности под действием силы $F=10$ Н, приложенной к его оси. Полагая, что сила F направлена перпендикулярно оси катка и образует с горизонтом угол $\alpha=30^\circ$, определить ускорение a , с которым перемещается ось катка.
34. Полый тонкостенный цилиндр массой $m=0,5$ кг, катящийся без скольжения, ударяется о стенку и откатывается от нее. Скорость цилиндра до удара $v_1=1,4$ м/с, после удара $v_2=1$ м/с. Определить выделенное при ударе количество теплоты Q .
35. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R=50$ см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m=6,4$ кг. Груз, разматывая нить опускается с ускорением $a=2$ м/с². Определить: 1) момент инерции вала; 2) массу вала.
36. Стержень массой 2 кг и длиной 1 м может вращаться вокруг оси, проходящей через его середину перпендикулярно стержню. В конец стержня попадает пуля массой 10 г, летящая перпендикулярно оси и стержню со скоро-

- стью 500 м/с. Определить угловую скорость, с которой начнет вращаться стержень, если пуля застрянет в нем.
37. Шар массой $m=10$ кг и радиусом $R=20$ см вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Уравнение вращения шара имеет вид $\varphi=A+Bt^2+Ct^3$, где $B=4$ рад/с², $C=-1$ рад/с³. Найти: 1) момент сил, действующий на шар через время $t=2$ с после началч вращения; 2) момент импульса шара относительно указанной оси через время $t=3$ с после начала вращения.
38. Карандаш длиной 15 см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую скорость и линейную скорость будет иметь в конце падения: 1) середина карандаша; 2) верхний его конец? Считать, что трение настолько велико, что нижний конец карандаша не проскальзывает.
39. К ободу колеса массой $m=50$ кг, имеющего форму диска радиусом $R=0,5$ м, приложена касательная сила $F=98,1$ Н. Найти угловое ускорение колеса. Через какое время после начала действия силы колесо будет иметь скорость соответствующую частоте вращения $n=100$ об/с?
40. Через блок, имеющий форму диска, перекинут шнур. К концам шнура привязали грузики массой $m_1=100$ г и $m_2=110$ г. С каким ускорением будут двигаться грузики, если масса блока равна $m=400$ г? Трение при вращении блока ничтожно мало.
41. Материальная точка совершает колебание согласно уравнению $x=Asin\omega t$. В какой-то момент времени смещение точки $x_1=15$ см. При возрастании фазы колебаний в 2 раза смещение $x_2=24$ см. Определить амплитуду A колебаний.
42. Материальная точка имеет наибольшее смещение 0,25 м и максимальную скорость 0,5 м/с. Написать уравнение гармонического колебания и определить максимальное ускорение точки.
43. К пружине жесткостью 8 кН/м подвешен груз массой $m=1$ кг, который колеблется с амплитудой 1,5 см. Определить: 1) период колебаний груза; 2) максимальную скорость колебаний груза; 3) максимальную кинетическую энергию груза.
44. Колебания материальной точки массой $m=0,1$ г происходит согласно уравнению $x=A\cos\omega t$, где $A=5$ см, $\omega=20$ с⁻¹. Определить максимальное значение возвращающей силы и полную энергию колебаний.
45. Однородный диск радиусом 20 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей на расстоянии 15 см от центра диска. Определить период колебаний диска относительно этой оси.
46. Два одинаково направленных гармонических колебания одинакового периода $T_1=T_2=2$ с с амплитудами $A_1=4$ см и $A_2=8$ см имеют разность фаз $\varphi=45^\circ$. Определить амплитуду и начальную фазу результирующего колебания.
47. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x=8\sin 2\pi t$ и $y=4\cos 2\pi t$ см. Определить уравнение траектории точки и изобразить ее с нанесением масштаба. Показать направление движения точки.

48. Уравнение плоской механической волны, распространяющейся в упругой среде, имеет вид $\xi = 10^{-8} \cdot \sin(6280t - 1,256x)$. Определить длину волны и скорость ее распространения.
49. Определить скорость распространения волны в упругой среде, если разность фаз колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на расстоянии $\Delta x = 10$ см, равна $\Delta \varphi = \pi/3$. Частота колебаний равна $\nu = 25$ Гц.
50. Логарифмический декремент затухания колебаний маятника $\lambda = 0,003$. Определить число колебаний, которое должен сделать маятник, чтобы его амплитуда уменьшилась в 2 раза.
51. Кинетическая энергия частицы оказалась равна ее энергии покоя. Какова скорость этой частицы?
52. Стержень движется в продольном направлении с постоянной скоростью относительно инерциальной системы отсчета. При каком значении скорости длина стержня в этой системе отсчета будет на 1 % меньше длины покоящегося стержня?
53. Найти собственное время жизни нестабильной частицы μ -мезона, движущегося со скоростью $0,99 \cdot c$, если расстояние, пролетаемое до распада, равно примерно 10 км.
54. Радиоактивное ядро, вылетевшее из ускорителя со скоростью $0,4 \cdot c$ (c – скорость света в вакууме), выбросило в направлении своего движения β -частицу со скоростью $0,75 \cdot c$ относительно ускорителя. Найти скорость частицы относительно ядра.
55. Электрон, скорость которого $0,97 \cdot c$ (c – скорость света в вакууме), движется навстречу протону, имеющему скорость $0,5 \cdot c$. Определить скорость их относительного движения.
56. Какую скорость должно иметь движущееся тело, чтобы его продольные размеры уменьшились в 2 раза?
57. π -мезон – нестабильная частица. Собственное время жизни его $2,6 \cdot 10^{-8}$ с. Какое расстояние пролетит π -мезон до распада, если он движется со скоростью $0,99 \cdot c$ (c – скорость света в вакууме)?
58. С какой скоростью движется электрон, если его кинетическая энергия 1,78 МэВ? Определить импульс электрона.
59. Определить скорость нейтрона, если его релятивистская масса в 3 раза больше массы покоя. Вычислить кинетическую и полную энергии нейтрона.
60. Масса движущегося протона $2,25 \cdot 10^{-27}$ кг. Найти скорость и кинетическую энергию протона.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Основные физические постоянные

<i>Физическая постоянная</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Числовое значение</i>
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	6,67·10 ⁻¹¹ Н·м ² /кг ²
Скорость света в вакууме	c	3·10 ⁸ м/с
Постоянная Авогадро	N _A	6,02·10 ²³ моль ⁻¹
Молярная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	1,38·10 ⁻²³ Дж/К
Нормальные условия:		
температура	T ₀	273,15 К
давление	P ₀	101325 Па

2. Скорость звука в веществе (при 15°C), м/с

Бериллий	12500
Воздух	340
Вода	1450
Воск	390

3. Свойства некоторых жидкостей (при 20°C)

Вещество	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/(кгК)
Вода	1000	4190
Глицерин	1200	2430
Касторовое масло	900	1800
Керосин	800	2140
Ртуть	13600	138
Спирт	790	2510

4. Свойства некоторых твердых тел

Вещество	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Удельная теплота плавления, кДж/кг
Алюминий	2600	659	896	322
Железо	7900	1530	500	272
Латунь	8400	900	386	-
Лед	900	0	2100	335
Медь	8600	1100	395	176
Серебро	10500	960	234	88
Сталь	7700	1300	460	-
Цинк	7000	420	391	117
Свинец	11300	327	126	22,6

При разработке методического пособия была использована литература:

1. Физика: Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-экономических специальностей вузов/В.Л. Прокофьев, В.Ф. Дмитриева, В.А. Рябов и др.; Под ред. В.Л. Прокофьева. – М.: Высш. шк., 1988. – 111 с.
2. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1981. – 496 с.
3. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики: Учебное пособие для студентов втузов. - М.: Высш. шк., 1996. – 303 с.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: Учебное пособие. - М.: Наука, 1985. – 384 с.
5. Физика: Задания к практ. занятиям: Учеб. пособие для вузов/ И.И. Рубан, С.М. Жаврид, Н.Е. Великевич, Ж.П. Лагутина; Под общ. ред. Ж.П. Лагутиной. – Мн.: Высш. шк., 1989. – 236 с.
6. Задания для самостоятельной работы по общей физике: Учебное пособие для студентов-заочников всех спец. втузов/ В.В. Харитонов, З.В. Гончарова, З.Д. Егорова, Р.Г. Пинчук. - Мн.: Высш. шк., 1984. – 156 с.