

МЕХАНИКА

Учебно-практическое пособие



Челябинск
2023

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М Е Х А Н И К А

Учебно-практическое пособие

Челябинск
2023

УДК 53(075)
ББК 22.3я72
М 55

Механика: учебно-практическое пособие / сост. Е.А. Селезнева; Министерство просвещения Российской Федерации, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет. – Челябинск: Изд-во ЮУрГГПУ, 2023. – 131 с. – ISBN 978-5-907790-38-4. – Текст: непосредственный.

Пособие содержит задания по основным разделам, изучаемым в курсе физики 10 класса (базовый уровень). В нем подробно рассматриваются темы раздела «Механика». Каждая тема включает краткие теоретические сведения, примеры решения задач, а также разноуровневые задания для самостоятельной работы.

Курс построен в соответствии с требованиями стандарта ФГОС СПО и отражает содержание рабочей программы учебной дисциплины БД.07 «Естествознание. Физика».

Пособие предназначено для студентов педагогических колледжей, обучающихся по направлениям подготовки «Преподавание в начальных классах», «Дошкольное образование», «Специальное дошкольное образование», «Физическая культура», изучающих дисциплину в рамках основной образовательной программы на базе основного общего образования.

Рецензенты:

М.Д. Даммер, д-р пед. наук, профессор кафедры
ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»

Н.В. Андриевских, канд. пед. наук, учитель высшей категории
МАОУ «СОШ № 104 с углубленным изучением отдельных
предметов г. Челябинска»

ISBN 978-5-907790-38-4

© Селезнева Е.А., составление, 2023
© Издательство Южно-Уральского государственного
гуманитарно-педагогического университета, 2023

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ	7
КИНЕМАТИКА	10
Основные понятия кинематики	10
Кинематика поступательного движения	13
Кинематика вращательного движения	19
Свободное падение	24
Лабораторная работа. Измерение ускорения свободного падения с помощью маятника	31
ДИНАМИКА	33
Законы механики Ньютона	33
Силы в механике	36
Сила упругости	38
Сила тяготения	41
Сила тяжести	42
Искусственные спутники	43
Вес тела. Невесомость	45
Сила трения	48
Проверочная работа по разделу «Динамика»	60
СТАТИКА	61
Условие равновесия твердого тела	61
Гидростатика	65
ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ	74
Закон сохранения импульса	74
Механическая энергия. Закон сохранения энергии	80

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ	87
Гармонические колебания	88
Пружинный маятник	91
Математический маятник	93
Свободные и вынужденные колебания	95
Механические волны. Продольные и поперечные волны	97
Звук. Звуковые волны	101
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	108
ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ФИЗИКЕ	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	114
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение 1. Универсальные физические постоянные	115
Приложение 2. Соотношения между единицами	116
Приложение 3. Темы сообщений по механике	118
Приложение 4. Требования к оформлению различных видов самостоятельной работы	120
Приложение 5. Критерии оценивания письменных работ	130

ВВЕДЕНИЕ

Физика – очень интересный и важный предмет школьной программы. Без знания основных законов не представляется возможным объяснить привычные явления, происходящие каждый день вокруг нас.

Данное пособие содержит основные теоретические сведения по основным вопросам раздела «Механика» при освоении программы СПО.

Цель и задачи дисциплины «Физика» заключаются в достижении предметных результатов обучения:

- освоение знаний о современной естественно-научной картине мира и методах естественных наук; знакомство с наиболее важными идеями и достижениями естествознания, оказавшими влияние на развитие;

- овладение умениями применять полученные знания для объяснения явлений окружающего мира, восприятия информации естественно-научного и специального (профессионально значимого) содержания, получаемой из СМИ, ресурсов Интернета, специальной и научно-популярной литературы;

- развитие интеллектуальных, творческих способностей и критического мышления в ходе проведения простейших исследований, анализа явлений, восприятия и интерпретации естественно-научной информации;

- воспитание убежденности в возможности познания законов природы и использования достижений естественных наук для развития цивилизации и повышения качества жизни;

– применение естественно-научных знаний в профессиональной деятельности и повседневной жизни для обеспечения безопасности жизнедеятельности; грамотного использования современных технологий.

Темы в пособии структурированы в соответствии с программой дисциплины. В содержании представлены теоретические сведения основных вопросов механики, формулы, расчетные и качественные задачи, лабораторные и проверочные работы. Материал будет полезным для использования на занятиях, а также в самостоятельной работе студентов.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ

В механике изучается наиболее простая форма движения – механическое движение. *Механическим движением* называется изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел, происходящее с течением времени. Любое механическое движение является *относительным*. В природе не существует абсолютного движения или абсолютного покоя.

Так, например, можно говорить о движении поезда относительно земли, пассажира относительно поезда, мухи относительно пассажира и т. д. Понятия абсолютного движения и абсолютного покоя не имеют смысла: пассажир, покоящийся относительно поезда, будет двигаться с ним относительно столба на дороге, совершать вместе с Землей суточное вращение и двигаться по орбите вокруг Солнца. Поэтому для описания механического движения необходимо указать конкретное тело, относительно которого наблюдается движение других тел.

Тело, относительно которого рассматривается движение, называется *телом отсчета*.

Для математического описания движения в кинематике используются различные модели физических тел.

Материальная точка – простейшая модель тела, используемая для описания движения в тех случаях, когда размерами и формой тела можно пренебречь. Так, поезд можно считать материальной точкой при его движении из Москвы в Челябинск, но не при посадке в него пассажиров. Землю можно считать материальной точкой при описании ее движения вокруг Солнца, но не ее суточного вращения вокруг собственной оси.

Эта модель применима в следующих случаях: 1) размеры тела малы по сравнению с характерными размерами области движения тела или 2) твердое тело совершает поступательное движение.

Основной задачей механики является определение положения движущегося тела в любой момент времени. Для решения этой задачи удобно представить движение тела как изменение координат его точек с течением времени. Чтобы измерить координаты, нужна система координат. Чтобы измерять время, нужны часы. Все это вместе образует систему отсчета.

Система отсчета – это тело отсчета вместе с жестко связанной с ним системой координат и часами.

Система отсчета показана ниже (рис. 1). Прямоугольная система координат $OXYZ$ жестко связана с телом отсчета, относительно которого рассматривается движение точки M .

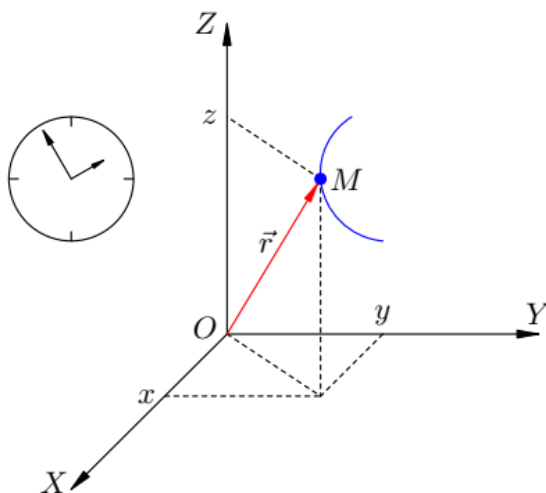


Рис. 1. Система отсчета

Вектор $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ называется *радиус-вектором* точки M . Три координаты x, y, z точки M являются в то же время координатами ее радиус-вектора \vec{r} .

Решить основную задачу механики для точки M – это значит найти ее координаты как функции времени:

$$x = x(t); y = y(t); z = z(t)$$

или, что то же самое, – найти зависимость радиус-вектора точки M от времени:

$$\vec{r} = \vec{r}(t).$$

В механике выделяют три раздела: *кинематика, динамика, статика*, в каждом из которых решается определенная задача, осуществляется поиск ответа на конкретный вопрос: как, почему тело движется (покоится), как достигается условие равновесия? Далее рассмотрим каждый раздел более подробно.

КИНЕМАТИКА

Основные понятия кинематики

Кинематика – это раздел механики, изучающий способы описания движения и связь между величинами, характеризующими это движение.

Рассмотрим основные понятия кинематики.

Траектория – это линия, вдоль которой движется тело. На рис. 2 траекторией точки M является дуга, которую описывает в пространстве конец радиус-вектора \vec{r} .

Путь – это длина участка траектории, пройденного телом за данный промежуток времени.

Перемещение – это вектор, соединяющий начальное и конечное положение тела. Предположим, что тело начало движение в точке A и закончило движение в точке B (рис. 2).

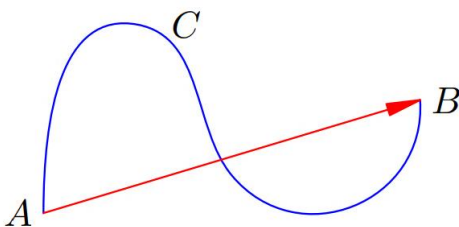


Рис. 2. Путь и перемещение

Простейшими видами механического движения материальной точки являются *равномерное* и *прямолинейное* движения. Движение называется *равномерным*, если модуль вектора скорости остается постоянным (направление скорости при этом может меняться). Движение называется

прямолинейным, если оно происходит вдоль некоторой прямой (величина скорости при этом может меняться). Иными словами, траекторией прямолинейного движения служит прямая линия. Например, автомобиль, который едет с постоянной скоростью по извилистой дороге, совершает равномерное (но не прямолинейное) движение. Автомобиль, разгоняющийся на прямом участке шоссе, совершает прямолинейное (но не равномерное) движение. Если при движении тела остаются постоянными как модуль скорости, так и ее направление, то движение называется равномерным прямолинейным.

Наряду с материальной точкой в механике рассматривается еще одна идеализация – модель твердого тела.

Твердое тело – это система материальных точек, расстояния между которыми не меняются со временем. Модель твердого тела применяется в тех случаях, когда мы не можем пренебречь размерами тела, но можем не принимать во внимание изменение размеров и формы тела в процессе движения. Простейшими видами механического движения твердого тела являются *поступательное* и *вращательное движения*. Движение тела называется *поступательным*, если всякая прямая, соединяющая две какие-либо точки тела, перемещается параллельно своему первоначальному направлению. При поступательном движении траектории всех точек тела идентичны: они получаются друг из друга параллельным сдвигом [10].

Основные понятия раздела механики «Кинематика» представлены на схеме (рис. 3).



Рис. 3. Основные понятия кинематики

Кинематика поступательного движения

Основные понятия: траектория, путь, перемещение, скорость (средняя, мгновенная), ускорение, равномерное прямолинейное движение, равноускоренное/равнозамедленное прямолинейное движение.

Основные формулы

КИНЕМАТИКА ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ	
$S_x = x - x_0$	проекция перемещения на ось OX
$v = \frac{S}{t}$	скорость равномерного прямолинейного движения
$v_{cp} = \frac{\sum S}{\sum t}$	средняя скорость
$x = x_0 + v_x \cdot t$	уравнения равномерного прямолинейного движения
$a = \frac{v - v_0}{t}$	ускорение при равноускоренном движении
$v = v_0 + a_x \cdot t$	скорость при равноускоренном движении
$S = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$	перемещение при равноускоренном движении
$S = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$	зависимость перемещения при равноускоренном движении от времени
$S = \frac{v_x^2 - v_0^2}{2 \cdot a_x}$	проекция перемещения при равноускоренном движении без времени
$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$	уравнение равноускоренного движения

Вопросы для самопроверки

1. Что изучает кинематика?
2. Чем отличается путь от перемещения?
3. Может ли ускорение быть отрицательным?
4. В чем заключается относительность движения?

Алгоритм решения кинематических задач

1. Выбрать систему отсчета (это предполагает выбор тела отсчета, начала системы координат, положительного направления осей, момента времени, принимаемого за начальный).

2. Определить вид движения вдоль каждой из осей и написать кинематические уравнения движения вдоль каждой оси, уравнения для координаты и для скорости (если тел несколько, уравнения пишутся для каждого тела).

3. Определить начальные условия (координаты и проекции скорости в начальный момент времени), а также проекции ускорения на оси и подставить эти величины в уравнения движения.

4. Определить дополнительные условия, т.е. координаты или скорости для каких-либо моментов времени (т.е. подставить эти значения координат и скорости в уравнения движения).

5. Полученную систему уравнений решить относительно искомых величин.

Решение задачи

Расстояние между двумя городами автомашина проехала со скоростью 60 км/ч, а обратный путь – со скоростью, вдвое меньшей. Найдите среднее значение модуля скорости автомашины за всё время движения.

<p><i>Дано:</i></p> <p>$v_1 = 60 \text{ км/ч}$ $v_2 = v_1/2$</p> <hr/> <p><i>Найти:</i></p> <p>$v_{\text{ср}} - ?$</p>	<p><i>Решение:</i></p> <p>Среднюю скорость найдем по формуле:</p> $v_{\text{ср}} = \frac{S_1 + S_2}{t_1 + t_2}.$ <p>$S_1 = S_2$ (расстояние между городами) Найдем время в пути:</p> $t_1 = \frac{S}{v_1}$ <p>и</p> $t_2 = \frac{S}{v_2} = \frac{2S}{v_1}.$ <p>Подставим в искомую формулу:</p> $v_{\text{ср}} = \frac{S + S}{\frac{S}{v_1} + \frac{2S}{v_1}} = \frac{2S}{\frac{3S}{v_1}} = \frac{2v_1}{3}.$ <p>Вычислим значение:</p> $v_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 60}{3} = 40 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$ <p><i>Ответ:</i> 40 км/ч.</p>
--	--

Задачи для самостоятельного решения

1. Молодой бамбук, растущий в Африке, за сутки вырастает на 86,4 см. Определите, на сколько он вырастет за секунду?

2. Длина швейной нити в катушке 200 м. Достаточно ли одной катушки, чтобы получить кусок нити в $\frac{1}{1\,000\,000}$ длины железной дороги между Санкт-Петербургом и Москвой (650 км)?

3. На какой угол поворачивается Земля вокруг своей оси за 1 минуту?

4. Два поезда, длиной 360 м каждый, движутся по прямым параллельным путям навстречу друг другу с одинако-

вой скоростью, равной 54 км/ч. Какое время пройдет после встречи поездов до того, как разминутся последние их вагоны?

5. Из приведенных ниже уравнений составьте системы кинематических уравнений, описывающих движение тел вдоль оси Ox с постоянным ускорением. Укажите начальную скорость, ускорение и начальную координату тела.

1) $v(x) = 3t$

4) $x = + 0.5t^2$

2) $v(x) = 4$

5) $x = 1 + 1.5t^2$

3) $v(x) = 1 + 2t + 2t^2$

6) $x = 2 + 4t$

6. Трамвай, проехав от остановки путь 25 м, набрал скорость 18 км/ч. Сколько времени потребовалось на разгон? С каким ускорением двигался трамвай? Считать движение равноускоренным и прямолинейным.

7. Пункты A и B находятся на берегу реки на некотором расстоянии друг от друга. Моторная лодка проходит расстояние AB вниз по течению реки за 3 ч, а плот то же расстояние – за 12 ч. Какое время затратит моторная лодка на обратный путь?

8. Два автомобиля подъезжают к одному перекрестку. Первый автомобиль едет с севера на юг со скоростью $v_1 = 72$ км/ч, а второй – с востока на запад со скоростью $v_2 = 54$ км/ч. С какой скоростью автомобили приближаются друг к другу?

9. Эскалатор поднимает стоящего на нем пассажира в течение 1 мин. По неподвижному эскалатору пассажир поднимается пешком на ту же высоту за 3 мин. За какое время пассажир достигнет той же высоты, если будет подниматься пешком по движущемуся вверх эскалатору?

10. Пуля, летящая со скоростью $v_0 = 400$ м/с, попадает в земляной вал и проникает в него на глубину $l = 20$ см. Какова скорость v_1 пули в момент, когда она находится на глу-

бине $l_1 = 10$ см? Силу сопротивления, действующую на пулю в земле, считать постоянной.

11. Минутная стрелка стоит на цифре 12. Чему равны путь и перемещение конца стрелки через 15, 30, 45 мин и через 1 час. Длина стрелки 10 см.

12. Скорость грузового автомобиля на 40 % меньше скорости легкового автомобиля. За какое время грузовой автомобиль проедет 72 км, двигаясь равномерно, если скорость легкового автомобиля 60 км/ч?

13. Пешеход и поезд движутся по мосту. Длина моста 200 м, длина поезда 100 м. Скорость пешехода 1 м/с, скорость поезда 36 км/ч. На сколько больше времени потребуется пешеходу, чем поезду, чтобы преодолеть мост?

14. Два тела движутся во взаимно перпендикулярных направлениях со скоростями 3 м/с и 4 м/с относительно неподвижных объектов. Чему равна их скорость относительно друг друга?

15. Два поезда движутся навстречу друг другу по параллельным путям со скоростями 36 км/ч и 54 км/ч. Длина первого поезда 40 м, длина второго 50 м. В течение какого времени поезда будут проезжать мимо друг друга?

16. Поезд длиной 40 м движется со скоростью 54 км/ч. Его обгоняет поезд длиной 30 м, движущийся по параллельному пути со скоростью 72 км/ч. В течении какого времени второй поезд будет обгонять первый?

17. Поезд длиной 60 м, движущийся со скоростью 36 км/ч, въехал на мост длиной 540 м. Через сколько времени он съедет с моста?

18. Пловец должен переплыть реку по кратчайшему пути в системе отсчета, связанной с берегом. Скорость течения относительно берега 0,8 м/с, а скорость пловца относительно воды 1,2 м/с. Чему равен модуль скорости пловца относительно берега?

19. Расстояние между двумя прибрежными поселками катер проходит по течению за 10 мин., а обратно – за 50 мин. За какое время проплывут это расстояние плоты?

20. На рисунке (рис. 4) представлен график ускорения тела. Составьте уравнение скорости тела и постройте график зависимости скорости от времени. Считать, что тело движется без начальной скорости.

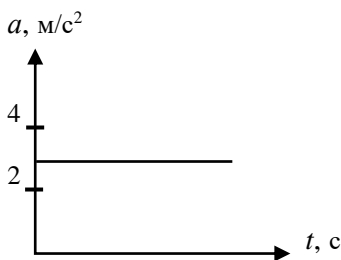


Рис. 4. К условию задачи 20

21. Уравнение координаты имеет вид $x = 2 + t + 0,4t^2$. В какой момент времени скорость тела станет равна нулю?

22. Два автомобиля движутся навстречу друг другу. Уравнения их движения имеют вид: $x_1 = 10t$ и $x_2 = 150 - 5t$. Определите время и место их встречи.

23. Водитель автомобиля, двигавшегося со скоростью 18 км/ч, начинает тормозить перед шлагбаумом на расстоянии 20 м. На каком расстоянии он остановится, если его ускорение по модулю равно 1 м/с^2 ?

24. Поезд отошел от станции и в течение 40 с двигался равноускоренно. Найдите путь, пройденный поездом за 40 с, если за десятую секунду он прошел 19 м.

25. Автомобиль движется по прямой улице. На графике (рис. 5) представлена зависимость скорости автомобиля от времени. Чему равен максимальный модуль ускорения? Ответ выразите в м/с^2 .

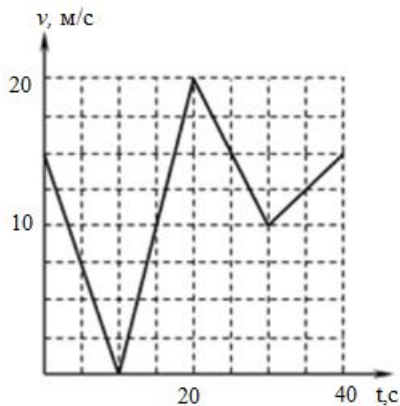


Рис. 5. К условию задачи 25

26. Мальчик съезжает на санках равноускорено со снежной горки. Скорость санок в конце спуска 10 м/с. Ускорение равно 1 м/с^2 , начальная скорость равна нулю. Какова длина горки?

27. Мотоцикл едет по прямой дороге с постоянной скоростью 50 км/ч. По той же дороге навстречу ему едет автомобиль с постоянной скоростью 70 км/ч. Чему равен модуль скорости движения мотоцикла относительно автомобиля?

Кинематика вращательного движения

Основные понятия: угловое перемещение, угловая скорость, частота, период, центростремительное ускорение, ускорение (тангенциальное, нормальное).

Равномерное движение по окружности – это достаточно простой пример движения с вектором ускорения, зависящим от времени [3].

Пусть точка вращается по окружности радиуса r . Скорость точки постоянна по модулю и равна v . Скорость v называется *линейной скоростью* точки.

Период обращения – это время одного полного оборота. Для периода T имеем очевидную формулу:

$$T = \frac{2\pi \cdot r}{v}.$$

Частота обращения – это величина, обратная периоду:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Частота показывает, сколько полных оборотов точка совершает за секунду. Измеряется частота в оборотах в секунду (об/с).

Пусть, например, $T = 0,1$ с. Это означает, что за время 0,1 с точка совершает один полный оборот. Частота при этом равна:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,1} = 10 \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

Это означает, что за секунду точка совершает 10 полных оборотов.

Рассмотрим далее равномерное вращение точки в декартовой системе координат (рис. 6).

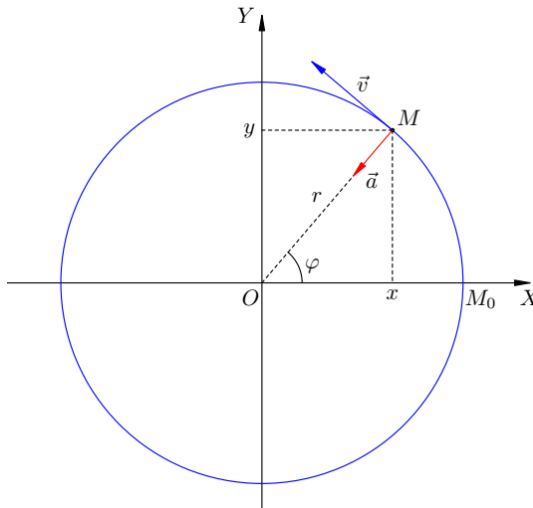


Рис. 6. Направление векторов скорости и ускорения при движении по окружности

Отношение угла поворота ко времени называется *угловой скоростью* вращения точки:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}.$$

Угол φ , как правило, измеряется в радианах, поэтому угловая скорость измеряется в рад/с.

За время, равное периоду вращения, точка поворачивается на угол 2π , поэтому

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

Сопоставляя указанные выше формулы, получаем связь линейной и угловой скоростей:

$$v = \omega \cdot r.$$

Основные формулы

КИНЕМАТИКА КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ	
$v = \frac{N}{t}$	частота обращения
$T = \frac{1}{v}$	период обращения
$v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$	линейная скорость
$\omega = \frac{\varphi}{t}$	угловая скорость
$v = \omega \cdot r$	связь линейной и угловой скорости
$a_y = \frac{v^2}{r}$	центростремительное ускорение

Решение задачи

Каковы линейная и угловая скорости точек на экваторе Земли при ее вращении вокруг своей оси?

Дано:	СИ	Решение:
$R = 6\,370\text{ км}$ $T = 24\text{ час}$	$6,37 \cdot 10^4\text{ м}$ $86\,400\text{ с}$	Линейную и угловую скорости при движении по окружности можно найти по формулам: $v = \frac{2\pi R}{T}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$
Найти: $v - ?$ $\omega - ?$		Подставим значения в формулы: $v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,37 \cdot 10^4}{86,4 \cdot 10^3} = 463 \frac{\text{м}}{\text{с}},$ $\omega = \frac{2 \cdot 3,14}{86,4 \cdot 10^3} = 7,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$ Ответ: 463 м/с ; $7,3 \cdot 10^{-5}\text{ рад/с}$.

Задачи для самостоятельного решения

28. Автомобиль при повороте движется по окружности радиуса 15 м с постоянной скоростью 36 км/ч . Чему равно центростремительное ускорение?

29. Поезд идет по закруглению пути со скоростью 90 км/ч . Определите радиус дуги, если ускорение равно $0,5\text{ м/с}^2$.

30. Тело движется равномерно по окружности по часовой стрелке (рис. 7). Какая стрелка указывает направление вектора скорости и ускорения при таком движении?

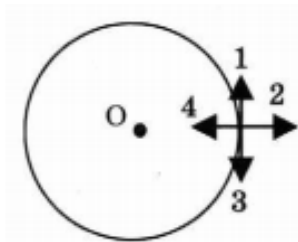


Рис. 7. К условию задачи 30

31. Тело движется по окружности с постоянной скоростью. Как изменится его центростремительное ускорение при увеличении скорости в 2 раза?

32. Автомобиль движется по закруглению дороги радиусом 20 м с центростремительным ускорением 5 м/с^2 . Определите скорость автомобиля.

33. Определите угловую скорость вращения паровой турбины, совершающей 3 000 об/мин.

34. Земля вращается вокруг своей оси за 24 ч. Вычислите угловую и линейную скорости вращения точки на экваторе (радиус Земли $\approx 6\,400 \text{ км}$).

35. Вычислите радиус окружности, по которой выходил из «пике» самолет, если известно, что скорость самолета была равна 800 км/ч , а его ускорение в самой нижней точке было в 10 раз больше ускорения свободного падения у поверхности Земли.

36. При постоянной скорости 900 км/ч самолет описывает вертикальную петлю. При каком радиусе петли центростремительное ускорение не превысит $5g$?

37. Центростремительное ускорение точки, движущейся по окружности, равно 32 см/с^2 , диаметр окружности 4 см. Чему равна угловая скорость?

38. Период вращения спицы колеса увеличился в 3 раза. Как изменилась частота вращения?

39. Точка движется по окружности с постоянной по модулю скоростью. Как изменится центростремительное ускорение, если скорость точки увеличится в 3 раза, а радиус уменьшится в 2 раза?

40. Две сцепленные шестеренки имеют радиусы 4 и 6 см соответственно. Период вращения меньшей шестеренки 5 с. Чему равен период вращения большей шестеренки?

Свободное падение

Свободным падением называется движение, которое совершает тело только под действием притяжения Земли, без учета сопротивления воздуха. Ускорение g , с которым движется вблизи поверхности Земли материальная точка, на которую действует только сила тяжести, называется *ускорением свободного падения*. Ускорение свободного падения не зависит от массы тела.

В курсе физики рассматривают несколько условий для свободно падающего тела:

- ✓ Тело свободно падает вниз.
- ✓ Тело брошено вниз.
- ✓ Тело брошено вверх.
- ✓ Тело брошено горизонтально.
- ✓ Тело брошено под углом к горизонту.

Далее рассмотрим основные этапы при решении типовых задач.

1. Тело свободно падает вниз, без начальной скорости

Для описания движения изобразим его на схеме (рис. 8).

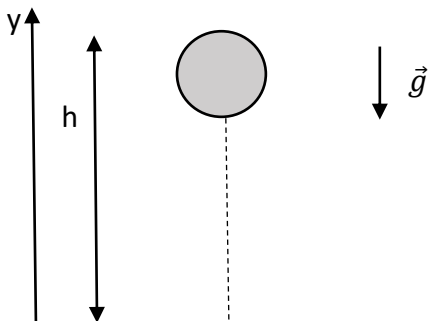


Рис. 8. Траектория полета тела, свободно падающего вниз

Далее покажем вывод расчетной формулы для данного случая:

Значение конечной скорости: $v = v_0 + gt, v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$.

Высота полета:

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Время полета:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Решение задачи

Тело падает с высоты 5 м. Какую скорость оно будет иметь в момент падения на землю?

<p><i>Дано:</i> $h = 5 \text{ м}$</p>	<p><i>Решение:</i> Применим известную в кинематике формулу без времени:</p> $v^2 - v_0^2 = 2gh.$ <p>Начальная скорость тела v_0 равна нулю (падает свободно):</p> $v_0 = 0.$ <p>Это значит, что формула примет вид:</p> $v^2 = 2gh.$ <p>Выразим искомую конечную скорость v:</p> $v = \sqrt{2gh}.$ <p>Осталось подставить численные данные и вычислить ответ:</p> $v = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 5} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$ <p><i>Ответ:</i> 10 м/с.</p>
<p><i>Найти:</i> $v - ?$</p>	

Аналогично можно рассмотреть остальные случаи движения тела в одной плоскости (вертикально, вдоль оси ОУ).

2. Движение тела, брошенного горизонтально

Предположим, что тело брошено горизонтально со скоростью v_0 с высоты h . Найдем время и дальность полета, а также выясним, по какой траектории происходит движение.

Выберем систему координат OXY так, как показано на рисунке (рис. 9).

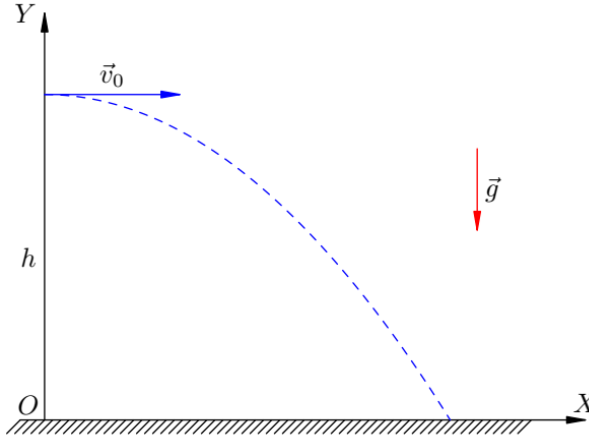


Рис. 9. Траектория полета тела, брошенного горизонтально

Используем формулы:

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

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}.$$

В нашем случае $x_0 = 0$, $v_{0x} = v_0$, $a_x = 0$, $y_0 = h$, $v_{0y} = 0$, $a_y = -g$.

Получаем: $x = v_{0x}t$,

$$y = h - \frac{gt^2}{2}.$$

Время полета t найдем из условия, что в момент падения координата тела Y обращается в нуль:

$$Y(t) = 0 \Rightarrow h - \frac{gt^2}{2} = 0 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Дальность полета L — это значение координаты x в момент времени t :

$$L = x(t) = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Получим уравнение траектории:

$$y = h - \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0} \right)^2 = h - \frac{gx^2}{2v_0^2}.$$

Получили зависимость Y от X , которая является уравнением параболы. Следовательно, тело летит по параболе.

3. Движение тела, брошенного под углом к горизонту

При описании движения тела у поверхности Земли удобно выбрать систему координат так, чтобы одна из координатных осей (ось OX) была направлена горизонтально, а другая (ось OY) — вертикально (рис. 10). Тогда движение по оси OX будет равномерным, а по оси OY — равнопеременным. В большинстве задач начало координат удобно совместить с точкой, откуда тело начинает движение.

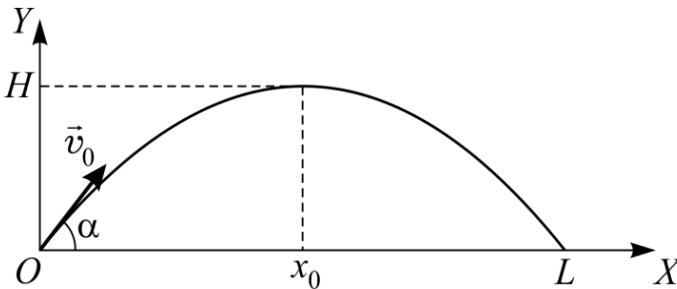


Рис. 10. Траектория полета тела, брошенного под углом к горизонту

Запишем основные уравнения в форме проекции уравнения скорости на координатные оси OX и OY :

$$v_x(t) = v_0 \cos \alpha = \text{const},$$

$$v_y(t) = v_0 \sin \alpha - gt.$$

Аналогично напишем уравнения координаты на осях OX и OY :

$$x(t) = v_0 t \cos \alpha,$$

$$y(t) = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

Решение задачи

Тело брошено вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Найти его скорость через 5 с.

<i>Дано:</i> $v_0 = 30$ м/с $t = 5$ с	<i>Решение:</i> Направим ось OY вертикально вверх, поместив начало отсчета на поверхности Земли.
<i>Найти:</i> $v - ?$	Используем формулу: $v_y = v_{0y} + a_y t.$ В данном случае $v_{0y} = 0$, $a_y = -g$. Это значит, что формула примет вид: $v_y = v_0 - gt.$ Вычислим: $v_y = 30 - 10 \cdot 5 = -20 \frac{м}{с}.$ Знак проекции указывает на то, что тело будет лететь вниз. <i>Ответ:</i> 20 м/с.

Задачи для самостоятельного решения

41. Тело упало с высоты 3 м с начальной скоростью 2 м/с. Чему равна его скорость в момент падения?

42. Чему равен путь свободно падающее тело за четвертую секунду?

43. Тело брошено с земли вверх с начальной скоростью 4 м/с. На какую высоту оно поднимется?

44. Тело, брошенное вниз с начальной скоростью, свободно падает. Если увеличить начальную скорость в 2 раза, как изменится время падения, ускорение тела и скорость в момент падения?

45. Мяч бросили вверх с начальной скоростью 4 м/с. Сколько времени он будет взлетать?

46. Тело свободно падает с некоторой высоты h и за первую секунду своего движения проходит путь, равный четверти высоты. Определите высоту и время падения тела.

47. На сколько отличаются перемещения (их модули), совершаемые телом за первую и последнюю секунды движения при свободном падении с высоты 122,5 м?

48. Свободно падающее тело прошло последние 30 м своего пути за время 0,5 с. С какой высоты h падало тело?

49. Подброшенный вертикально вверх мяч поднялся на высоту 9,4 м. Сколько времени мяч находился в полете? Ускорение свободного падения $g = 8,9 \text{ м/с}^2$. Соппротивлением воздуха пренебречь.

50. Тело бросили вверх со скоростью 20 м/с. Через сколько времени его скорость уменьшится на 40 % ?

51. Тело бросили вверх со скоростью 4 м/с. Через сколько времени его скорость уменьшится в 2 раза?

52. Тело бросили вверх со скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту. На какую максимальную высоту оно поднимется?

53. Из орудия стреляют под углом к горизонту. Как направлен вектор скорости и ускорения в полете? На рисунке указать несколько положений.

54. Под каким углом к горизонту должен вылететь снаряд из орудия, чтобы его дальность полета была максимальной при неизменной начальной скорости?

55. Под каким углом к горизонту должен вылететь снаряд из орудия, чтобы его дальность полета была равна максимальной высоте подъема при неизменной начальной скорости?

56. Тело бросили вверх с земли под углом 30° к горизонту со скоростью 4 м/с . Через какое время оно упадет на землю?

57. Тело бросили вверх с земли со скоростью 2 м/с под углом 60° к горизонту. Чему равна скорость в наивысшей точке траектории?

58. Ракета запущена вертикально вверх с поверхности Земли и на участке разгона имела постоянное ускорение $a = 6,19 \text{ м/с}^2$. Какое время падала ракета с ускорением g после достижения наибольшей в полете высоты, если на участке разгона движение продолжалось в течение времени 1 мин. ?

59. Шарик бросают вертикально вверх со скоростью $v_0 = 5 \text{ м/с}$. Пролетев расстояние $h = 1,05 \text{ м}$, он упруго ударяется о потолок и падает вниз. Через какое время после начала движения шарик упадет на пол, если расстояние от пола до потолка $H = 2,25 \text{ м}$? Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

60. Человек бросает камень через забор высотой $H = 2,5 \text{ м}$. На какое максимальное расстояние S он может отойти от забора, если бросок производится с высоты $h = 2 \text{ м}$ от поверхности Земли со скоростью $v_0 = 5 \text{ м/с}$ под углом 45° к горизонту? Ускорение свободного падения принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

61. Дождевальная установка разбрызгивает воду, направляя водяные капли во все стороны с одинаковой скоростью. Какова площадь S орошаемого ею участка, если максимальная высота подъема капель $h = 1 \text{ м}$? Считать, что капли начинают движение непосредственно от поверхности Земли. Соппротивление воздуха не учитывать.

62. С края бетонированного желоба, сечение которого изображено на рисунке, бросают в горизонтальном направлении маленький шарик (рис. 11). Какие значения может иметь величина начальной скорости шарика v_0 для того, чтобы он, ударившись один раз о дно желоба, выпрыгнул на его противоположную сторону?

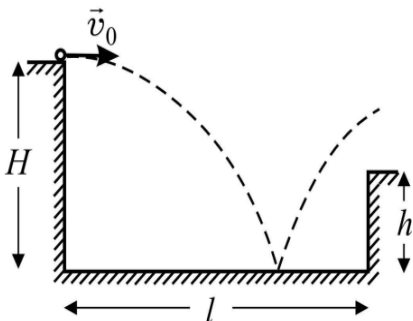


Рис. 11. К условию задачи 62

При вычислениях считать, что $H = 0,9$ м, $h = 5$ м, $l = 2$ м. Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с². Удар шарика о дно желоба считать абсолютно упругим, сопротивлением воздуха пренебречь.

Лабораторная работа. Измерение ускорения свободного падения с помощью маятника

Цель работы: вычислить ускорение свободного падения с помощью математического маятника.

Оборудование: часы с секундной стрелкой, измерительная лента, шарик на нити, штатив с муфтой и кольцом.

Порядок выполнения работы

1. Установите на краю стола штатив. У его верхнего конца укрепите при помощи муфты кольцо и подвесьте к нему шарик на нити.
2. Отклоните маятник от положения равновесия на 5–8 см и отпустите его.
3. Измерьте длину подвеса мерной лентой l (м).
4. Измерьте время Δt 40 полных колебаний (N).

5. Повторите три раза измерения Δt (не изменяя условий опыта) и найдите среднее значение Δt_{cp} :

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3}{3}.$$

6. Вычислите среднее значение периода колебаний T_{cp} по среднему значению Δt_{cp} по формуле: $T_{cp} = \frac{\Delta t_{cp}}{N}$.

7. Вычислите значение g_{cp} по формуле: $g_{cp} = \frac{4\pi^2 l}{T_{cp}^2}$.

8. Полученные результаты занесите в таблицу:

№ опыта	$l, \text{ м}$	N	$\Delta t, \text{ с}$	$\Delta t_{cp}, \text{ с}$	$T_{cp}, \text{ с}$	$g_{cp}, \frac{\text{ м}}{\text{ с}^2}$
1		40				
2		40				
3		40				

9. Сравните полученное среднее значение для g_{cp} со значением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ и рассчитайте относительную погрешность измерения по формуле:

$$\varepsilon = \frac{|g_{cp} - g|}{g} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}}.$$

10. Рассчитайте абсолютную погрешность по формуле $\Delta g = |g - g_{cp}| = \underline{\hspace{2cm}}$.

11. Запишите окончательный результат:

$$g = g_{cp} \pm \Delta g = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Вывод: _____

ДИНАМИКА

Законы механики Ньютона

В разделе «Динамика» изучается влияние взаимодействия между телами на их механическое движение.

Основная задача динамики состоит в определении положения тел и их скоростей в произвольный момент времени по известным начальным положениям тел, их начальным скоростям и силам, действующим на тела.

Механическое действие одного тела на другое возможно как при непосредственном соприкосновении тел, так и на расстоянии. Действие одного тела на другое в механике проявляется в деформации взаимодействующих тел и в возникновении у тел ускорений.

Свободным (изолированным) телом называется тело, на которое не действуют какие-либо другие тела или поля, или тело, внешние воздействия на которое уравновешены (скомпенсированы).

Первый закон Ньютона. Понятие об инерциальных и неинерциальных системах отсчета. Первый закон Ньютона постулирует существование особого класса систем отсчета. В этих системах отсчета свободное тело сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения. Системы отсчета, в которых выполняется первый закон Ньютона, называются *инерциальными*. Особое значение инерциальных систем отсчета состоит в том, что в этих системах механические явления описываются наиболее просто.

Если существует хотя бы одна инерциальная система отсчета, то существует и бесконечное множество таких си-

стем. Действительно, если в одной системе свободное тело движется с постоянной скоростью, то в любой другой системе отсчета, движущейся относительно первой с постоянной скоростью, это тело также будет иметь постоянную скорость.

Свободным можно считать тело, достаточно удаленное от других тел. Для того чтобы выяснить, в какой степени данную систему можно считать инерциальной, нужно из этой системы наблюдать за свободным телом (например, за уединенной звездой). Чем ближе к нулю ускорение этого тела, тем больше оснований считать данную систему отсчета инерциальной.

Из известных в настоящее время систем отсчета наиболее близка к инерциальной гелиоцентрическая система, связанная с центром Солнца. Для описания многих механических движений в земных условиях инерциальной можно считать систему отсчета, связанную либо с поверхностью Земли, либо с ее центром (геоцентрическая система отсчета). При этом пренебрегают ускорением этой системы, связанным с вращательным движением Земли вокруг собственной оси и вокруг Солнца.

Системы отсчета, в которых свободное тело не сохраняет скорость движения постоянной, называются *неинерциальными*. Неинерциальной является любая система отсчета, движущаяся с ускорением относительно инерциальной [10].

Принцип относительности Галилея гласит: любое механическое явление во всех инерциальных системах отсчета протекает одинаково при одинаковых начальных условиях.

Масса. Скалярная физическая величина, являющаяся мерой инертности тела, называется *массой* тела. Она служит количественной характеристикой отклика тела на воздействие на него других тел. Чем больше масса тела, тем мень-

шее ускорение приобретает это тело под действием одной и той же силы.

Измерение массы тела, т.е. сравнение его массы с *эталонной массой*, основывается на следующем утверждении, являющемся обобщением многочисленных опытных данных: в инерциальной системе отсчета отношение масс взаимодействующих тел равно обратному отношению модулей их ускорений.

В механике Ньютона постулируется, что:

- 1) масса тела не зависит от скорости его движения;
- 2) масса тела равна сумме масс всех частиц (или материальных точек), из которых оно состоит;
- 3) при любых процессах, происходящих в замкнутой системе тел, ее полная масса остается неизменной.

Второй закон Ньютона. Основой динамики является *второй закон Ньютона*, согласно которому в инерциальной системе отсчета произведение массы тела на его ускорение равно сумме действующих на тело сил:

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}.$$

Третий закон Ньютона. При любом взаимодействии двух тел сила, действующая со стороны одного тела на другое, равна по величине и противоположна по направлению силе, действующей со стороны второго тела на первое. Эти силы направлены вдоль прямой, соединяющей точки их приложения, и всегда имеют одну и ту же физическую природу.

Этот закон утверждает, что силы взаимодействия всегда появляются попарно. Если в инерциальной системе отсчета на какое-то тело действует сила, то обязательно есть какое-то другое тело, на которое первое действует с такой же по модулю силой, но направленной в противоположную сторону. Следует помнить, что силы, появляющиеся при

взаимодействии тел, приложены к *разным* телам и поэтому не могут уравнивать друг друга. Уравниваться могут только силы, приложенные к одному телу [4].

В инерциальных системах отсчета ускорение тела, а также его деформация могут быть вызваны только его взаимодействием с другими телами. Характеристикой действия одного тела на другое является сила. *Силой* называется векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на материальную точку или тело со стороны других тел или полей. Сила полностью определена, если заданы ее **модуль**, **направление** и **точка приложения**.

Силы в механике

Различные взаимодействия, известные в современной физике, сводятся к четырем типам: *гравитационные, электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия*. Сила как количественная характеристика позволяет оценивать лишь гравитационные и электромагнитные взаимодействия. В тех чрезвычайно малых областях пространства и в тех процессах, в которых проявляются сильные и слабые взаимодействия, такие понятия, как точка приложения, линия действия, а вместе с ними и само понятие силы теряют смысл. Таким образом, *в задачах механики* основную роль играют *гравитационные силы (силы тяготения), электромагнитные силы*, действующие на заряженное тело, а также три их разновидности: *силы упругости, силы трения и мускульные силы* человека и животных. Для решения таких задач важно знать, при каких условиях возникают силы, каковы их модули и направления, т.е. знать, как силы зависят от расстояний между телами и от скоростей их движения. В свою оче-

редь узнать значения сил, определить, как и когда они действуют, можно, располагая лишь способами их измерения.

Сравнение сил производится на основании следующего утверждения, являющегося определением равенства сил в механике:

Две силы, независимо от их природы, считаются равными по модулю и противоположно направленными, если их одновременное действие на тело не меняет его состояния покоя или равномерного прямолинейного движения

Величина силы может быть измерена по степени деформации специального пробного тела – *динамометра*. Моделью динамометра обычно служит пружина.

Силы взаимодействия между телами не зависят от выбора системы отсчета. При переходе от одной системы отсчета к другой силы взаимодействия не изменяются [5].

Сложение сил, действующих на материальную точку. Если на материальную точку действует несколько сил в разных направлениях, то их действие можно заменить действием одной силы, называемой *равнодействующей*, величина и направление которой определяются по правилу сложения векторов (рис. 12).

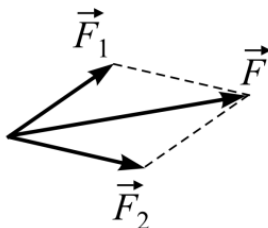


Рис. 12. Векторное сложение сил

В механике рассматривается три вида сил: сила упругости, гравитационная сила и сила трения.

Сила упругости

Силы упругости возникают при деформации тел.

Деформация – это изменение формы и размеров тела. К деформации относятся растяжение, сжатие, кручение, сдвиг и изгиб. Деформация бывает упругой и пластической.

Упругая деформация полностью исчезает после снятия внешнего воздействия, которое вызвало деформацию. В результате деформированное поначалу тело восстанавливает свои первоначальные размеры и форму.

Пластическая деформация сохраняется (быть может, частично) после снятия внешней нагрузки, и тело уже не возвращается к прежним размерам и форме.

Частицы тела (молекулы или атомы) взаимодействуют друг с другом силами притяжения и отталкивания, имеющими электромагнитное происхождение (это силы, действующие между ядрами и электронами соседних атомов). Силы взаимодействия зависят от расстояний между частицами. Если деформации нет, то силы притяжения компенсируются силами отталкивания. При деформации изменяются расстояния между частицами, и баланс сил взаимодействия нарушается [10].

Например, при растяжении стержня расстояния между его частицами увеличиваются, и начинают преобладать силы притяжения. Наоборот, при сжатии стержня расстояния между частицами уменьшаются, и начинают преобладать силы отталкивания. В любом случае возникает сила, которая направлена в сторону, противоположную деформации, и стремится восстановить первоначальную конфигурацию тела.

Сила упругости – это сила, возникающая при упругой деформации тела и направленная в сторону, противоположную смещению частиц тела в процессе деформации.

Сила упругости:

1) действует между соседними слоями деформированного тела и приложена к каждому слою;

2) действует со стороны деформированного тела на соприкасающееся с ним тело, вызывающее деформацию, и приложена в месте контакта данных тел перпендикулярно их поверхностям (типичный пример – сила реакции опоры).

Силы, возникающие при пластических деформациях, не относятся к силам упругости. Эти силы зависят не от величины деформации, а от скорости ее возникновения. В школьном курсе физики рассматриваются растяжения нитей и тросов, а также растяжения и сжатия пружин и стержней. Во всех этих случаях силы упругости направлены вдоль осей данных тел.

Деформация называется малой, если изменение размеров тела много меньше его первоначальных размеров. При малых деформациях зависимость силы упругости от величины деформации оказывается линейной.

Закон Гука. Абсолютная величина силы упругости прямо пропорциональна величине деформации. В частности, для пружины, сжатой или растянутой на величину x , сила упругости задается формулой:

$$F = kx,$$

где k – коэффициент жесткости пружины.

Коэффициент жесткости зависит не только от материала пружины, но также от ее формы и размеров.

График зависимости силы упругости от (малой) деформации является прямой линией (рис. 13):

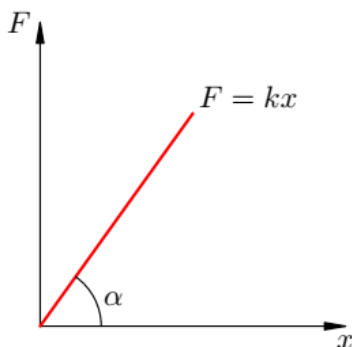


Рис. 13. Закон Гука

Коэффициент жесткости k – это угловой коэффициент в уравнении прямой $F = kx$. Поэтому справедливо равенство:

$$k = \operatorname{tg} \alpha,$$

где α – угол наклона данной прямой к оси абсцисс. Это равенство удобно использовать при экспериментальном нахождении величины k .

Подчеркнем еще раз, что закон Гука о линейной зависимости силы упругости от величины деформации справедлив лишь при малых деформациях тела. Когда деформации перестают быть малыми, эта зависимость перестает быть линейной и приобретает более сложный вид. Соответственно, прямая линия на рисунке 13 – это лишь небольшой начальный участок криволинейного графика, описывающего зависимость F от x при всех значениях деформации x [5].

Модуль Юнга. В частном случае малых деформаций стержней имеется более детальная формула, уточняющая общий вид закона Гука. Если стержень длиной l и площадью поперечного сечения S растянуть или сжать на величину x , то для силы упругости справедлива формула:

$$F = ES \frac{x}{l}.$$

Здесь E – модуль Юнга материала стержня. Этот коэффициент уже не зависит от геометрических размеров стержня. Модули Юнга различных веществ приведены в справочных таблицах [11].

Сила тяготения

Любые два тела притягиваются друг к другу потому, что они имеют массу. Эта сила притяжения называется силой тяготения или гравитационной силой.

Гравитационное взаимодействие любых двух тел во Вселенной подчиняется достаточно простому закону.

Закон всемирного тяготения

В 1682 году Исаак Ньютон открыл закон всемирного тяготения. Две материальные точки массами m_1 и m_2 притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния r между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}.$$

Коэффициент пропорциональности G называется гравитационной постоянной. Это фундаментальная константа, и ее численное значение было определено на основе эксперимента Генри Кавендиша:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{K^2}.$$

Порядок величины гравитационной постоянной объясняет, почему мы не замечаем взаимного притяжения окружающих нас предметов: гравитационные силы оказываются слишком малыми при небольших массах тел. Мы наблюдаем лишь притяжение предметов к Земле, масса которой грандиозна и равна примерно $6 \cdot 10^{24}$ кг.

Имеются, однако, два важных для практики исключения.

1. Формула справедлива, если тела являются однородными шарами. Тогда r – расстояние между их центрами. Сила притяжения направлена вдоль прямой, соединяющей центры шаров.

2. Формула справедлива, если одно из тел – однородный шар, а другое – материальная точка, находящаяся вне шара. Тогда r – расстояние от точки до центра шара. Сила притяжения направлена вдоль прямой, соединяющей точку с центром шара. Второй случай особенно важен, так как позволяет применять формулу для силы притяжения тела (например, искусственного спутника) к планете.

Сила тяжести

Предположим, что тело находится вблизи некоторой планеты. Сила тяжести – это сила гравитационного притяжения, действующая на тело со стороны планеты. В подавляющем большинстве случаев сила тяжести – это сила притяжения к Земле. Пусть тело массы m лежит на поверхности Земли. На тело действует сила тяжести mg , где g – ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли. С другой стороны, считая Землю однородным шаром, можно выразить силу тяжести по закону всемирного тяготения:

$$mg = G \frac{Mm}{R^2},$$

где M – масса Земли, $R \approx 6400$ км – радиус Земли. Отсюда получаем формулу для ускорения свободного падения на поверхности Земли:

$$g = G \frac{M}{R^2}.$$

Эта же формула, разумеется, позволяет найти ускорение свободного падения на поверхности любой планеты массы

M и радиуса R . Если тело находится на высоте h над поверхностью планеты, то для силы тяжести получаем:

$$mg(h) = G \frac{Mm}{(R + h)^2}.$$

Здесь $g(h)$ – ускорение свободного падения на высоте h :

$$g(h) = G \frac{M}{(R + h)^2}.$$

Воспользовавшись соотношением $GM = gR^2$, получим

$$g(h) = \frac{gR^2}{(R + h)^2}.$$

Искусственные спутники

Для того, чтобы искусственный спутник мог совершать орбитальное движение вокруг планеты, ему нужно сообщить определенную скорость. Найдем скорость кругового движения спутника на высоте h над поверхностью планеты. Масса планеты M , ее радиус R (рис. 14).

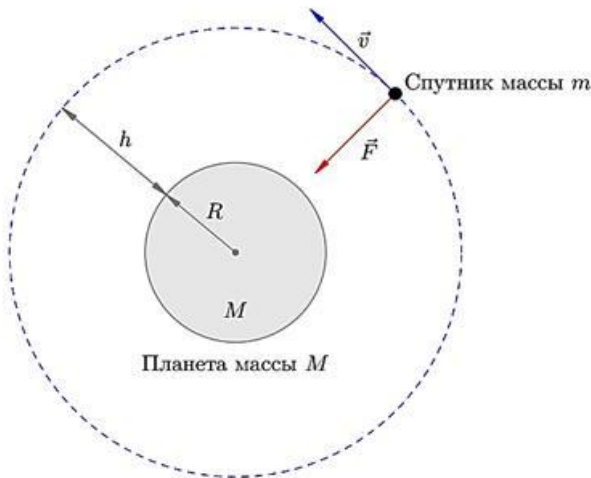


Рис. 14. Спутник на круговой орбите

Спутник будет двигаться под действием единственной силы \vec{F} – силы всемирного тяготения, направленной к центру планеты. Туда же направлено и ускорение спутника – центростремительное ускорение:

$$a = \frac{v^2}{R + h}.$$

Обозначив через m массу спутника, запишем второй закон Ньютона в проекции на ось, направленную к центру планеты:

$$m \cdot a = F,$$

или

$$m \frac{v^2}{R + h} = G \frac{Mm}{(R + h)^2}.$$

Отсюда получаем выражение для скорости:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R + h}}.$$

Первая космическая скорость – это максимальная скорость кругового движения спутника, отвечающая высоте $h = 0$. Для первой космической скорости имеем:

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} \text{ или } v_1 = \sqrt{gR}.$$

Для Земли приближенно получаем:

$$v_1 = 8\,000 \text{ м/с} = 8 \text{ км/с [8]}.$$

Решение задачи

Для примера определим первую и вторую космические скорости для Луны, если известна ее масса и средний радиус.

Дано:
 $M_{\text{Л}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
 $R_{\text{Л}} = 1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$

Найти:
 $v_{\text{IЛ}} - ?$
 $v_{\text{IIЛ}} - ?$

Решение:

Расчет первой космической скорости:

$$v_{\text{I}} = \sqrt{G \cdot \frac{M_{\text{Л}}}{R_{\text{Л}}}} \cong 1679 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Расчет второй космической скорости:

$$v_{\text{II}} = \sqrt{2} \cdot v_{\text{I}} \cong 2374 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: 1679 м/с и 2374 м/с.

Вес тела. Невесомость

Рассмотрим тело, находящееся в поле силы тяжести. Предположим, что есть опора или подвес, препятствующие свободному падению тела.

Вес тела – это сила, с которой тело действует на опору или подвес. Подчеркнем, что вес приложен не к телу, а к опоре (подвесу). На рисунке 15 изображено тело на опоре.

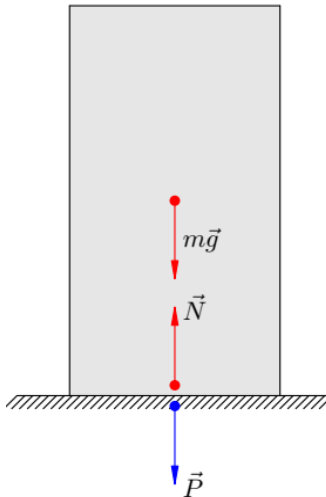


Рис. 15. Сила тяжести, реакция опоры и вес тела

Со стороны Земли на тело действует сила тяжести $m\vec{g}$ (в случае однородного тела простой формы сила тяжести приложена в центре симметрии тела). Со стороны опоры на тело действует сила упругости \vec{N} (так называемая реакция опоры). На опору со стороны тела действует сила \vec{P} – вес тела. По третьему закону Ньютона силы \vec{P} и \vec{N} равны по модулю ($P = N$) и противоположны по направлению. Предположим, что тело покоится. Тогда равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю. С учетом равенства $N = P$ получаем $m\vec{g} = P$. Следовательно, если тело покоится, то его вес равен по модулю силе тяжести.

Рассмотрим решение двух стандартных задач (в общем виде) по этой теме.

Решение задачи

Тело массы m вместе с опорой движется с ускорением a , направленным вертикально вверх. Найти вес тела.

<p><i>Дано:</i></p> <p>m</p> <p>a</p> <hr/> <p><i>Найти:</i></p> <p>$P - ?$</p>	<p><i>Решение:</i></p> <p>На тело действуют силы: сила тяжести, сила реакции опоры. Изобразим их на схеме.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Направим ось Y вертикально вверх. Запишем уравнение II закона Ньютона в векторной форме:</p> $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}.$
--	---

Запишем уравнение в проекции на ось OY:

$$ma = N - mg,$$

тогда $N = mg + ma = m(g + a)$.

Следовательно, вес тела

$$P = m(g + a).$$

Ответ: $P = m(g + a)$. Вес увеличился.

Как видим, вес тела больше силы тяжести. Такое состояние называется *перегрузкой*.

Решение задачи

Тело массы m вместе с опорой движется с ускорением $a \leq g$, направленным вертикально вниз. Найти вес тела.

Дано:

m

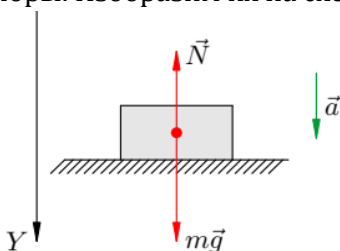
a

Найти:

$P - ?$

Решение:

На тело действуют силы: сила тяжести, сила реакции опоры. Изобразим их на схеме.



Направим ось Y вертикально вниз.

Запишем уравнение II закона Ньютона в векторной форме:

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

Запишем уравнение в проекции на ось OY:

$$ma = mg - N,$$

тогда $N = mg + ma = m(g - a)$.

Следовательно, вес тела

$$P = m(g - a).$$

Ответ: $P = m(g - a)$. Вес уменьшился.

В данном случае вес тела меньше силы тяжести. При $a = g$ (свободное падение тела с опорой) вес тела обращается в нуль. Это состояние *невесомости*, при котором тело вообще не давит на опору.

Сила трения

Сила трения – это сила взаимодействия между соприкасающимися телами, препятствующая перемещению одного тела относительно другого. Сила трения всегда направлена вдоль поверхностей соприкасающихся тел. В школьном курсе физике рассматриваются два вида трения.

1. *Сухое трение*. Оно возникает в зоне контакта поверхностей твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки.

2. *Вязкое трение*. Оно возникает при движении твердого тела в жидкой или газообразной среде, или при перемещении одного слоя среды относительно другого.

Сухое и вязкое трение имеют разную природу и отличаются по свойствам. Рассмотрим эти виды трения по отдельности.

Сухое трение может возникать даже при отсутствии относительного перемещения тел. Так, тяжелый диван остается неподвижным при слабой попытке сдвинуть его с места: наша сила, приложенная к дивану, компенсируется силой трения, возникающей между диваном и полом. Сила трения, которая действует между поверхностями покоящихся тел и препятствует возникновению движения, называется *силой трения покоя*. Почему вообще появляется сила трения покоя? Соприкасающиеся поверхности дивана и пола являются шероховатыми, они усеяны микроскопическими, незаметными глазу бугорками разных форм и размеров. Эти бугорки зацепляются друг за друга и не дают дивану начать

движение. Сила трения покоя, таким образом, вызвана силами электромагнитного отталкивания молекул, возникающими при деформациях бугорков.

Будем плавно увеличивать силу F , приложенную к дивану. Как вам хорошо известно, до некоторого момента диван всё еще не поддается и стоит на месте. Это означает, что *сила трения покоя f возрастает вместе с увеличением внешнего воздействия, оставаясь равной по модулю приложенной силе: $f = F$* (рис. 16, участок OA). Причина возрастания силы трения понятна: увеличиваются деформации бугорков и возрастают силы отталкивания их молекул [3].

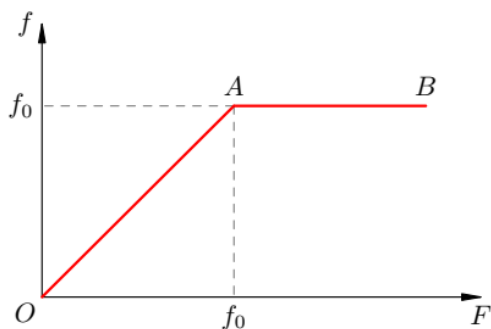


Рис. 16. Зависимость силы трения f от внешней силы F

Наконец, при определенной величине внешней силы диван сдвигается с места. Это означает, что *сила трения покоя достигает максимально возможного значения f_0* (рис. 16, точка A). Деформация бугорков оказывается столь велика, что бугорки не выдерживают и начинают разрушаться. Возникает скольжение.

Сила трения, которая действует между проскальзывающими поверхностями, называется *силой трения скольжения*. В процессе скольжения рвутся связи между молекулами в зацепляющихся бугорках поверхностей. При трении покоя таких разрывов нет.

Сила трения скольжения уже не зависит от величины приложенной силы F и остается постоянной (рис. 16, горизонтальный участок AB). Сила трения скольжения равна максимальной силе трения покоя f_0 .

Объяснение сухого трения с использованием термина *бугорки* является максимально простым и наглядным. Реальные механизмы трения намного сложнее, их рассмотрение выходит за рамки элементарной физики.

Сила трения скольжения, приложенная к телу со стороны шероховатой поверхности, направлена противоположно скорости движения тела относительно этой поверхности. При изменении направления скорости меняется и направление силы трения. Зависимость силы трения от скорости – главное отличие силы трения от сил упругости и тяготения (величина которых зависит только от взаимного расположения тел, т.е. от их координат).

В простейшей модели сухого трения выполняются следующие законы. Они являются обобщением опытных фактов и носят приближенный характер.

1. Максимальная величина силы трения покоя равна силе трения скольжения.

2. Абсолютная величина силы трения скольжения прямо пропорциональна силе реакции опоры:

$$f = \mu N.$$

Коэффициент пропорциональности μ называется *коэффициентом трения*.

3. Коэффициент трения не зависит от скорости движения тела по шероховатой поверхности.

4. Коэффициент трения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей.

Этих законов достаточно для решения задач [5].

Решение задачи

На горизонтальной шероховатой поверхности лежит брусок массой $m = 3$ кг. Коэффициент трения $\mu = 0,4$. К бруску приложена горизонтальная сила F . Найти силу трения в двух случаях: 1) при $F = 10$ Н; 2) при $F = 15$ Н.

Решение. Сделаем рисунок, расставим силы. Силу трения обозначим \vec{f} (рис. 17).

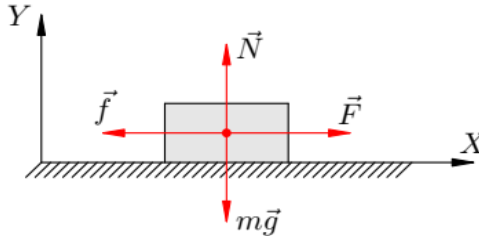


Рис. 17. Действующие на тело силы

Запишем второй закон Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{f}.$$

Вдоль оси Y брусок не совершает движения, $a_y = 0$. Проектируя равенство на ось Y , получим:

$$0 = -mg + N, \text{ откуда } N = mg.$$

Максимальная величина f_0 силы трения покоя (она же сила трения скольжения) равна:

$$f_0 = \mu N = \mu mg = 0,4 \cdot 3 \cdot 10 = 12 \text{ Н.}$$

1. Сила $F = 10$ Н меньше максимальной силы трения покоя. Брусок остается на месте, и сила трения будет силой трения покоя: $f = F = 10$ Н.

2. Сила $F = 15$ Н больше максимальной силы трения покоя. Брусок начнет скользить, и сила трения будет силой трения скольжения: $f = f_0 = 12$ Н.

Механика, основанная на законах Ньютона, называется *классической механикой*. Классическая механика, однако,

имеет ограниченную область применимости. В рамках классической механики хорошо описывается движение *не очень маленьких тел с не очень большими скоростями*. При описании атомов и элементарных частиц на замену классической механике приходит *квантовая механика*. Движение объектов со скоростями, близкими к скорости света, происходит по законам *теории относительности*.

Основные формулы

ДИНАМИКА	
$\sum \vec{F} = 0$	первый закон Ньютона
$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$	второй закон Ньютона
$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$	третий закон Ньютона
$\vec{F} = m\vec{g}$	сила тяжести
$\vec{P} = m\vec{g}$	вес покоящегося тела
$\vec{P} = m(\vec{g} + \vec{a})$	вес тела, движущегося с ускорением
$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$	закон Всемирного тяготения
$F_{упр} = -k \cdot \Delta x$	сила упругости
$F_{тр} = \mu N$	сила трения
$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$	второй закон Ньютона в импульсной форме

Вопросы для самопроверки

1. Что изучает динамика?
2. Каково основное уравнение динамики?

3. Что такое вес тела и зависит ли он от местоположения тела на поверхности Земли? Чем отличается вес тела от массы тела?

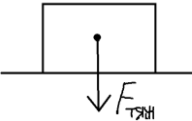
4. В каких системах отсчета справедлив второй закон Ньютона?

5. Что такое инерциальная система отсчета?

6. Сила тяжести на Земле является отдельным проявлением одного из фундаментальных физических взаимодействий. Что это за взаимодействие?

Задание. Заполните таблицу, используя материал из учебника или конспекта.

Обобщающая таблица по теме «Силы»

Сила	Обозначение	Определение	Направление, схематичное изображение вектора силы	Единица измерения	Примеры
<i>Сила тяжести</i>	$F_{\text{тяж}}$	Это сила, с которой Земля притягивает к себе другие тела	Действует всегда! Направлена вертикально вниз от центра тела. Действует на все тела вблизи поверхности Земли. Зависит от расстояния до центра планеты 	[Н]	Книга лежит на столе. Камень падает на пол

Алгоритм решения задач по динамике

1. Выбрать систему отсчета.
2. Найти все силы, действующие на тело, и изобразить их на чертеже. Определить (или предположить) направление ускорения и изобразить его на чертеже.
3. Записать уравнение второго закона Ньютона в векторной форме и перейти к скалярной записи, заменив все векторы их проекциями на оси координат.
4. Исходя из физической природы сил, выразить силы через величины, от которых они зависят.
5. Если в задаче требуется определить положение или скорость точки, то к полученным уравнениям динамики добавить кинематические уравнения.
6. Полученную систему уравнений решить относительно искомых.

Решение задачи

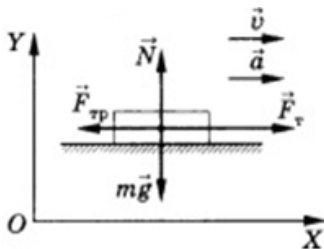
Троллейбус, масса которого 12 т, за 5 с проходит путь 10 м. Определите силу тяги, развиваемую двигателем, если сила трения 2,4 кН.

Дано:	СИ
$m = 12 \text{ т}$	12 000 кг
$t = 5 \text{ с}$	
$S = 10 \text{ м}$	
$F_{\text{тр}} = 2,4 \text{ кН}$	2 400 Н

Найти:
 $F_{\text{тяги}} - ?$

Решение:

На тело действует четыре силы: сила тяжести, сила трения, сила реакции опоры, сила тяги. Изобразим их на схеме.



Запишем уравнение II закона Ньютона в векторной форме:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_{тяги}$$

За положительное направление оси OX примем направление движения троллейбуса.

Запишем уравнение в проекции на ось OX :

$$ma = F_{тяги} - F_{тр},$$

тогда $F_{тяги} = ma + F_{тр}$.

Ускорение определим из формулы:

$$S = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2},$$

получим

$$a = \frac{2S}{t^2}.$$

Решим уравнения, найдем: $F_{тяги} = m \cdot \frac{2S}{t^2} + F_{тр}$.

Подставим числовые данные, получим

$$F_{тяги} = 12000 \cdot \frac{2 \cdot 10}{5^2} + 2400 = 12\,000 \text{ Н.}$$

Ответ: 12 кН.

Задачи для самостоятельного решения

63. Пассажирский поезд, двигаясь с постоянным ускорением, за 1,5 мин. после начала движения набрал скорость 81 км/ч. С каким ускорением двигался поезд? Какой путь он прошел за это время?

64. На концах нити, перекинутой через блок, подвешенный к потолку, закреплены два груза общей массой 30 кг. Грузы движутся с ускорением $0,3g$, направленным для правого груза вниз. Найти массы грузов. Массой блока и нити, а также трением пренебречь.

65. К нити подвешен груз массой 1 кг. Найти силу натяжения нити T , если нить с грузом: 1) покоится; 2) движется вниз с ускорением 5 м/с^2 ; 3) движется вверх с ускорением 5 м/с^2 .

66. Брусок массой $m = 51 \text{ кг}$, лежащий на горизонтальной плоскости, совершает прямолинейное равноускоренное движение под действием горизонтально направленной силы $F = 5 \text{ Н}$. Если увеличить массу бруска в 2 раза, то его ускорение под действием той же силы уменьшится в 3 раза. Пользуясь этими данными, вычислить коэффициент трения бруска о плоскость. Считать, что сила трения скольжения не зависит от скорости. Ускорение свободного падения принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

67. По наклонной плоскости с углом наклона 15° тело движется вниз равномерно. С каким ускорением a будет двигаться это тело, если угол наклона плоскости увеличить до величины 30° ? Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

68. Два шарика с массами $m_1 = 600 \text{ г}$ и $m_2 = 400 \text{ г}$ подвешены на легкой нерастяжимой нити, перекинутой через блок. В начальный момент времени блок заторможен, а расстояние между шариками по вертикали $l = 49 \text{ см}$, причем более тяжелый шарик расположен выше. Через какое время шарики окажутся на одной горизонтали, если системе позволить двигаться? Блок невесом. Трением пренебречь.

69. Движение тела массой 4 кг описывается уравнением $x = 2 + 4t + t^2$. На тело действует сила трения 3 Н. Найти чему равна сила тяги.

70. Тело массой 7 кг движется прямолинейно. Коэффициент трения 0,5. Чему равна сила трения между телом и поверхностью?

71. Автомобиль массой 800 кг движется равномерно по шоссе. Найти силу тяги, если коэффициент трения 0,01.

72. Чему равна масса тела, движущегося с ускорением 2 м/с^2 под действием трех сил (рис. 18).

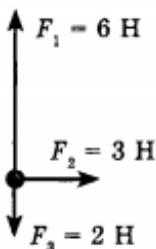


Рис. 18. К условию задачи 72

73. На графике (рис. 19) изображена проекция скорости тела массой 500 г , движущегося вниз. Чему равен вес тела?

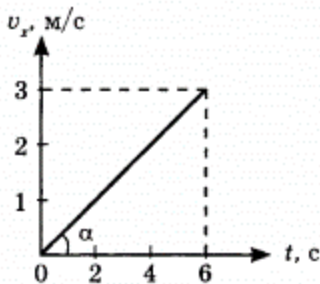


Рис. 19. К условию задачи 73

74. Скорость шайбы, скользящей по льду, изменяется с течением времени по закону: $v = 20 - 3t$. Определите, чему равен коэффициент трения шайбы о лед.

75. Радиус Луны примерно в $3,7$ раза меньше, чем радиус Земли, а масса Луны в 81 раз меньше массы Земли. Определите ускорение свободного падения тел на поверхности Луны.

76. На какой высоте над поверхностью Земли сила тяготения в 2 раза меньше, чем на поверхности Земли?

77. На какой высоте (в км) над поверхностью Земли ускорение свободного падения в 9 раз меньше, чем на земной поверхности?

78. В вершине наклонной плоскости размещен невесомый блок (рис. 20). Через блок перекинута нить, к ее концам подвешены грузы 0,5 кг и 0,6 кг соответственно. Найти ускорение грузов, если длина 1 м, высота наклонной плоскости 60 см, коэффициент трения первого груза о плоскость 0,25.

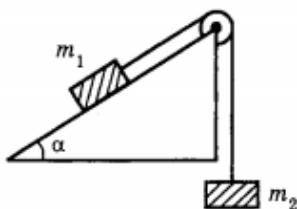


Рис. 20. К условию задачи 78

79. Брусок массой 4 кг прислонили к вертикальной поверхности (рис. 21). Коэффициент трения между бруском и поверхностью 0,5. С каким минимальным ускорением надо перемещать влево вертикальную поверхность, чтобы брусок оставался в покое?



Рис. 21. К условию задачи 79

80. Под действием силы 50 Н проволока длиной 2,5 м и площадью поперечного сечения $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ удлинилась на 1 мм. Определите модуль Юнга.

81. Вычислите модуль упругости железа, если известно, что железная проволока длиной 1,5 м и поперечным сечением 10^{-6} м^2 под действием силы в 200 Н удлинилась на 1,5 мм.

82. Груз какой массы следует подвесить к стальному тросу длиной 2 м и диаметром 1 см, чтобы он удлинился на 1 мм? Модуль Юнга для стали $2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

83. Под действием груза в 200 Н пружина динамометра удлинилась на 0,5 см. Каково удлинение пружины под действием груза в 700 Н?

84. Проволока длиной 10 м с площадью сечения $0,75 \text{ мм}^2$ при растяжении силой 100 Н удлинилась на 1,0 см. Определите модуль Юнга для материала проволоки.

85. С какой силой нужно растягивать закрепленную стальную проволоку длиной 1 м с площадью сечения $0,5 \text{ мм}^2$, чтобы удлинить ее на 3 мм?

86. Определите диаметр стальной проволоки длиной 4,2 м, чтобы при действии продольной растягивающей силы, равной 10 кН, ее абсолютное удлинение было равно 0,6 см?

87. На брусок массой 5 кг, движущийся по горизонтальной поверхности, действует сила трения скольжения 10 Н. Чему будет равна сила трения скольжения, если массу бруска увеличить в 2 раза, не изменяя коэффициента трения?

88. Чему равен модуль силы тяжести, действующей на тело массой 18 кг, на высоте, равной половине радиуса Земли?

89. Две звезды одинаковой массы m притягиваются друг к другу с силами, равными по модулю F . Во сколько раз больше силы F модуль сил притяжения между другими двумя звездами, если расстояние между их центрами такое же, как и в первом случае, а массы звезд равны $2m$ и $3m$?

90. Брусок массой 5 кг покоится на шероховатом горизонтальном столе. Коэффициент трения между поверхностью бруска и поверхностью стола равен 0,2. На этот брусок действуют горизонтально направленной силой 15 Н. Чему равна по модулю возникающая при этом сила трения?

Проверочная работа по разделу «Динамика»

1. Какова сила натяжения троса при вертикальном подъеме груза массой 200 кг с ускорением 3 м/с^2 ?

2. Вагонетка массой 400 кг движется под действием силы 60 Н с ускорением 1 м/с^2 . Определите силу сопротивления.

3. На нити, перекинутой через неподвижный блок, подвешены два груза массой 11 и 15 г. Когда гири отпустили, система пришла в движение с ускорением $81,8 \text{ см/с}^2$. Каково ускорение свободного падения для данной местности?

4. Троллейбус массой 11 т, трогаясь с места, на пути 50 м приобрел скорость 10 м/с. Найти коэффициент трения, если сила тяги 14 кН.

5. Два груза, соединенные нитью, двигаются горизонтально по гладкой поверхности. Когда к правому грузу приложили силу, равную 100 Н, натяжение нити стало 30 Н. Каким будет натяжение нити, если эту силу приложить к левому грузу?

6. В шахту спускается бадья массой 500 кг и первые 10 с проходит 20 м, двигаясь ускоренно. Чему равна сила натяжения каната?

СТАТИКА

Статикой называется раздел механики, в котором изучаются условия равновесия твердых тел под действием приложенных к ним сил.

Условие равновесия твердого тела

Равновесие – это состояние тела, при котором каждая его точка остается все время неподвижной в некоторой инерциальной системе отсчета. Условием равновесия материальной точки является равенство нулю равнодействующей (т. е. векторной суммы) всех сил, приложенных к точке.

Важно учитывать точку приложения каждой силы. Сила тяжести приложена в центре тяжести тела. Для тела простой формы центр тяжести совпадает с центром симметрии. Силы упругости и трения приложены в точке или в плоскости контакта тела с соприкасающимся телом. Прямая линия, проходящая через точку приложения вдоль вектора силы, называется линией действия силы [10].

Для равновесия твердого тела недостаточно потребовать равенства нулю векторной суммы всех приложенных к телу сил. В качестве примера рассмотрим пару сил – так называются две равные по модулю противоположно направленные силы, линии действия которых не совпадают. Пусть пара сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 приложена к твердому стержню (рис. 22).

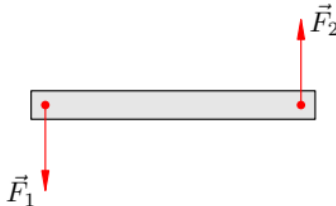


Рис. 22. Пара сил

Векторная сумма этих сил равна нулю. Но стержень покоиться не будет: он начнет вращаться. В данном случае не выполнено второе условие равновесия твердого тела. Чтобы его сформулировать, нужно ввести понятие момента силы. Как должна быть направлена линия действия силы, чтобы тело стало вращаться вокруг неподвижной оси? Для начала заметим следующее.

- Если линия действия силы параллельна данной оси, то вращения не будет.

- Если линия действия силы пересекает данную ось, то вращения не будет.

В каждом из этих случаев действие силы вызывает лишь деформацию твердого тела. Чтобы началось вращение, линия действия силы и ось вращения должны быть скрещивающимися прямыми. Поэтому везде далее мы считаем, что все силы, действующие на тело, перпендикулярны оси вращения.

Момент силы относительно оси вращения. Для того чтобы привести твердое тело во вращение вокруг некоторой оси, к нему нужно приложить силу, имеющую отличную от нуля составляющую в плоскости, перпендикулярной к оси. При этом линия действия этой составляющей не должна проходить через ось вращения.

Плечом силы называют расстояние от оси вращения до линии действия силы (рис. 23).

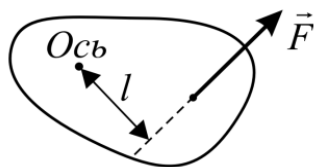


Рис. 23. Модель твердого тела, имеющего ось вращения

Моментом силы относительно оси называют величину, равную произведению модуля силы F на плечо l и взятую со

знаком «плюс», если сила стремится вызвать поворот тела по часовой стрелке, и со знаком «минус», если против часовой стрелки:

$$M = F \cdot l.$$

Правило моментов. Состояние твердого тела, в котором все его точки остаются сколь угодно долго неподвижными по отношению к выбранной инерциальной системе отсчета, называется *равновесием*. Условие равновесия твердого тела, имеющего ось вращения, может быть сформулировано в виде *правила моментов*: тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к телу сил относительно этой оси равна нулю.

Условия равновесия тела. Если твердое тело может перемещаться поступательно, а также совершать вращательное движение относительно некоторой оси, равновесие тела достигается при одновременном выполнении двух условий:

1. Сумма всех сил, приложенных к телу, равна нулю.
2. Алгебраическая сумма моментов всех сил, приложенных к телу относительно оси вращения (или любой другой оси, параллельной оси вращения), равна нулю.

Устойчивое, неустойчивое и безразличное равновесие тел. На практике большую роль играет качественная характеристика равновесия, называемая устойчивостью. В связи с этим различают три типа равновесия тел – устойчивое, неустойчивое и безразличное (рис. 24).

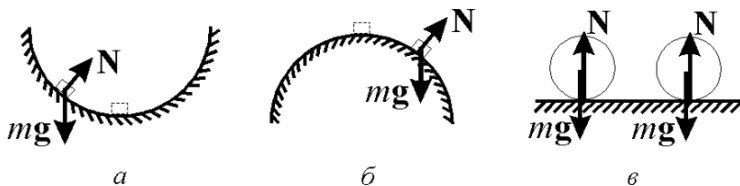


Рис. 24. Виды равновесия:

а – устойчивое, б – неустойчивое, в – безразличное

Решение задачи

Рабочий удерживает за один конец доску массой 50 кг. С горизонтальной поверхностью доска образует угол 30° . С какой силой удерживает рабочий доску, если эта сила направлена перпендикулярно доске?

Дано:

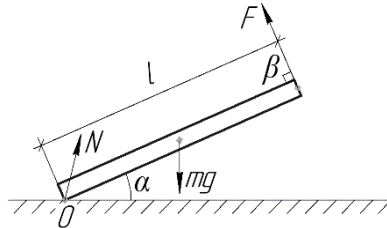
$m = 50 \text{ кг}$
 $\alpha = 30^\circ$

Найти:

$F - ?$

Решение:

На доску действуют три силы: сила тяжести mg , сила F и сила реакции N в точке O .



Чтобы найти искомую силу F , запишем правило моментов относительно точки O :

$$\sum \vec{M} = 0.$$

Для момента каждой силы применим формулу:

$$M = F \cdot \ell.$$

Плечо силы реакции N равно нулю, а значит и момент этой силы равен нулю.

Плечо силы тяжести равно $\ell/2 \cdot \cos\alpha$, а плечо силы F равно ℓ :

$$mg \cdot \frac{\ell}{2} \cos\alpha - F \cdot \ell = 0.$$

Откуда имеем:

$$F = \frac{mg}{2} \cdot \cos\alpha.$$

Численное значение искомой силы F равно:

$$F = \frac{50 \cdot 10}{2} \cdot \cos 30^\circ = 216 \text{ Н} = 0,216 \text{ кН}.$$

Ответ: 0,216 кН.

Гидростатика

В разделах «Гидростатика» и «Аэростатика» рассматриваются два вопроса: 1) равновесие жидкостей и газов под действием приложенных к ним сил; 2) равновесие твердых тел в жидкостях и газах.

Многие из обсуждаемых далее фактов относятся равным образом как к жидкостям, так и к газам. В таких случаях мы будем называть жидкость и газ средой. При сжатии среды в ней возникают силы упругости, называемые силами давления. Силы давления действуют между соприкасающимися слоями среды, на погруженные в среду твердые тела, а также на дно и стенки сосуда [3].

Сила давления среды обладает двумя характерными свойствами.

1. Сила давления действует перпендикулярно поверхности выделенного элемента среды или твердого тела. Это объясняется текучестью среды: силы упругости не возникают в ней при относительном сдвиге слоев, поэтому отсутствуют силы упругости, касательные к поверхности.

2. Сила давления равномерно распределена по той поверхности, на которую она действует.

Естественной величиной, возникающей в процессе изучения сил давления среды, является давление.

Когда внешняя сила действует на твердое тело, то создаваемое ею давление передается телом в направлении действия силы. Жидкости и газы ведут себя принципиально иначе.

Согласно *закону Паскаля*, давление, оказываемое на покоящуюся жидкость внешними силами, передается ею одинаково во всех направлениях без изменения. То же самое утверждение справедливо и для газа.

Пусть на поверхность площади S действует сила F , которая перпендикулярна поверхности и равномерно распределена по ней.

Давлением называется величина, равная отношению величины ΔF_n нормальной компоненты поверхностной силы, действующей на элементарную площадку, к площади этой площадки:

$$p = \frac{F}{S}.$$

Единицей измерения давления служит паскаль (Па). 1 Па – это давление, производимое силой 1 Н на поверхность площадью 1 м².

Полезно помнить приближенное значение нормального атмосферного давления: $p_0 = 10^5$ Па.

Гидростатическим называется давление неподвижной жидкости, вызванное силой тяжести [2].

Предположим, что в сосуд с площадью дна S налита жидкость до высоты h (рис. 25). Плотность жидкости равна ρ .

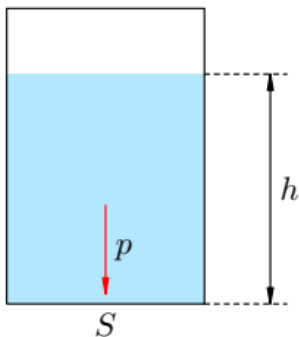


Рис. 25. Гидростатическое давление

Объем жидкости равен $v = S \cdot h$, поэтому масса жидкости $m = \rho \cdot S \cdot h$.

Сила F давления жидкости на дно сосуда – это вес жидкости. Так как жидкость неподвижна, ее вес равен силе тяжести:

$$F = mg = \rho Shg.$$

Разделив силу F на площадь S , получим давление жидкости:

$$p = \rho gh.$$

Это и есть формула гидростатического давления.

Так, на глубине 10 м вода оказывает давление $p = 1000 \cdot 10 \cdot 9,8 = 98\,000$ Па, примерно равное атмосферному. Можно сказать, что атмосферное давление приблизительно равно 10 м водного столба. Для практики столь большая высота столба жидкости неудобна, поэтому жидкостные манометры – ртутные ($\rho = 13\,600$ кг/м³).

Закон Паскаля. Если поставить гвоздь вертикально и ударить по нему молотком, то гвоздь передаст действие молотка по вертикали, но не вбок. Твердые тела из-за наличия кристаллической решетки передают производимое на них давление только в направлении действия силы. Жидкости и газы (напомним, что мы называем их средами) ведут себя иначе. В средах действует *закон Паскаля*: давление, оказываемое на жидкость или газ, передается в любую точку этой среды без изменения по всем направлениям.

Закон Архимеда. На погруженное в жидкость или газ тело действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу среды, объем которой равен объему тела. Таким образом, архимедова сила всегда находится по формуле:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V_{\text{тела}}.$$

Заметим, что в эту формулу не входят ни плотность тела, ни какие-либо его геометрические характеристики. При

фиксированном объеме величина архимедовой силы не зависит от вещества и формы тела.

Выясним, чему равна архимедова сила при частичном погружении. На ту часть тела, которая находится над поверхностью жидкости, никакая выталкивающая сила не действует. Значит, на частично погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, объем которой равен объему погруженной части тела:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V_{\text{погр}}.$$

Архимед обнаружил, что целиком погруженное в воду тело вытесняет объем воды, равный собственному объему. Тот же факт имеет место для других жидкостей и газов. Поэтому можно сказать, что на всякое тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом среды [10].

Условие плавания тел

Рассмотрим тело плотности ρ и жидкость плотности ρ_0 . Допустим, что тело полностью погрузили в жидкость и отпустили. Сразу после отпускания на тело действуют лишь сила тяжести mg и архимедова сила F_A .

Если объем тела равен V , то

$$m \cdot g = \rho \cdot g \cdot V,$$

$$F_A = \rho_0 \cdot g \cdot V.$$

Имеются три возможности дальнейшего движения тела.

1. Сила тяжести больше архимедовой силы: $mg > F_A$, или $\rho > \rho_0$. В этом случае тело тонет.

2. Сила тяжести равна архимедовой силе: $mg = F_A$, или $\rho = \rho_0$. В этом случае тело остается неподвижным в состоянии безразличного равновесия.

3. Сила тяжести меньше архимедовой силы: $mg < F_A$, или $\rho < \rho_0$. В этом случае тело всплывает, достигая поверхности

жидкости. При дальнейшем всплытии начнет уменьшаться объем погруженной части тела, а вместе с ним и архимедова сила. В какой-то момент архимедова сила сравняется с силой тяжести (положение равновесия). Тело по инерции всплывет дальше, остановится, снова начнет погружаться. Возникнут затухающие колебания, после которых тело останется плавать в положении равновесия ($mg = F_A$), частично погрузившись в жидкость [8].

Таким образом, условие плавания тела можно записать в виде неравенства: $\rho \leq \rho_0$. Например, лед ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$) будет плавать в воде ($\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$), но утонет в спирте ($\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$).

Основные формулы

СТАТИКА	
$M = F \cdot d$	момент силы относительно оси вращения
$\sum \vec{F} = 0$	условие равновесия тела, не имеющего оси вращения
$\sum \vec{M} = 0$	условие равновесия тела, имеющего оси вращения
ГИДРОСТАТИКА	
$\rho = \frac{m}{V}$	плотность вещества
$p = \frac{F}{S}$	давление твердого тела
$p = \rho gh$	давление жидкости
$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$	закон сообщающихся сосудов
$F = \rho g V_{погр}$	закон Архимеда

Алгоритм решения задач по статике

1. Выбрать систему отсчета.
2. Найти все силы, приложенные к телу, находящемуся в равновесии.
3. Написать уравнение, выражающее первое условие равновесия, в векторной форме и перейти к скалярной его записи.
4. Выбрать ось, относительно которой целесообразно определять моменты сил.
5. Определить плечи сил и написать уравнение, выражающее второе условие равновесия.
6. Исходя из природы сил, выразить силы через величины, от которых они зависят, и решить полученную систему уравнений относительно искомых величин.

Решение задачи

Каково давление на дне озера глубиной 5 м? Атмосферное давление принять равным 100 кПа.

Дано:

$$h = 5 \text{ м}$$

$$p_0 = 100 \text{ кПа}$$

Найти:

$$p - ?$$

Решение:

Среднюю скорость найдем по формуле:

$$p = p_0 + \rho gh.$$

Подставим значения в искомую формулу:

$$p = 100\,000 \text{ Па} + 1\,000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 5 \text{ м} =$$

$$150\,000 \text{ Па.}$$

Ответ: 150 кПа.

Задачи для самостоятельного решения

91. Тело массой $0,3 \text{ кг}$ подвешено к невесомому рычагу так, как показано на рисунке (рис. 26). Груз какой массы надо подвесить к третьей метке в правой части рычага для достижения равновесия?



Рис. 26. К условию задачи 91

92. На поверхности воды плавает лист пенопласта, причем толщина погруженной в воду части $h = 1 \text{ м}$. Если положить на пенопласт груз массой $M = 50 \text{ кг}$, то высота выступающей над водой части пенопласта уменьшится на $\Delta h = 5 \text{ см}$. Чему равна масса m пенопласта?

93. Груз висит на двух тросах (рис. 27). Угол ACB равен 120° . Сила тяжести, действующая на груз, равна 600 Н . Определите силы натяжения тросов AC и CB .

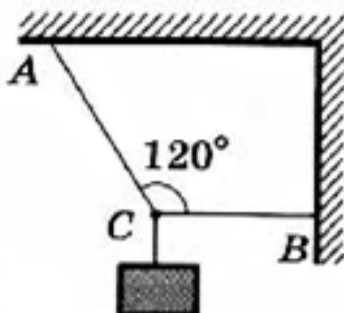


Рис. 27. К условию задачи 93

94. Груз подвешен на нити (рис. 28). Нати его массу, если силы натяжения частей нити 8 Н и 6 Н.

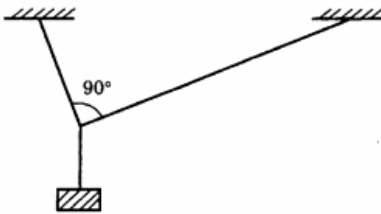


Рис. 28. К условию задачи 94

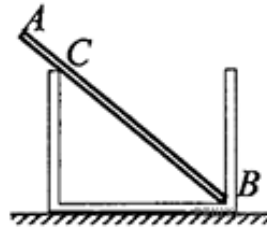


Рис. 29. К условию задачи 95

95. Однородный стержень AB массой $m = 100$ г покоится, упираясь в стык дна и стенки банки концом B и опираясь на край банки в точке C (рис. 29). Модуль силы, с которой стержень давит на стенку сосуда в точке C , равен $0,5$ Н. Чему равен модуль вертикальной составляющей силы, с которой стержень давит на сосуд в точке B , если модуль горизонтальной составляющей этой силы равен $0,3$ Н? Трением пренебречь. Ответ укажите в ньютонах с точностью до одного знака после запятой.

96. Тело подвешено на двух нитях и находится в равновесии. Угол между нитями равен 90° , а силы натяжения нитей равны 3 Н и 4 Н. Чему равна сила тяжести, действующая на тело?

97. Однородный цилиндр объемом $4 \cdot 10^{-4}$ м³ подвешен на нити и наполовину погружен в воду. Какова плотность материала цилиндра, если сила натяжения нити $F = 3$ Н?

98. Плотность бамбука равна 400 кг/м³. Какой наибольший груз может перевозить по озеру бамбуковый плот площадью 10 м² и толщиной $0,5$ м? Ответ приведите в килограммах.

99. В сосуд высотой 20 см налита вода, уровень которой ниже края сосуда на 2 см. Чему равна сила давления воды на дно сосуда, если площадь дна $0,01$ м²? (Ответ дайте

в ньютонах.) Атмосферное давление не учитывать. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

100. На границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, имеющих плотности $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_2 = 3\rho_1$, плавает шарик (рис. 30). Какова должна быть плотность шарика ρ , чтобы выше границы раздела жидкостей была одна треть его объема?

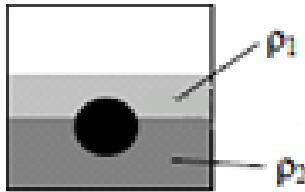


Рис. 30. К условию задачи 100

101. В четыре сосуда, вертикальные сечения которых показаны на рисунке, налита вода. Дно каждого сосуда является прямоугольным, длина дна у всех сосудов одинакова и равна 50 см , а ширина разная (рис. 31). Одна клеточка на рисунке соответствует 10 см . В одном из этих сосудов сила гидростатического давления на дно максимальна. Чему она равна? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

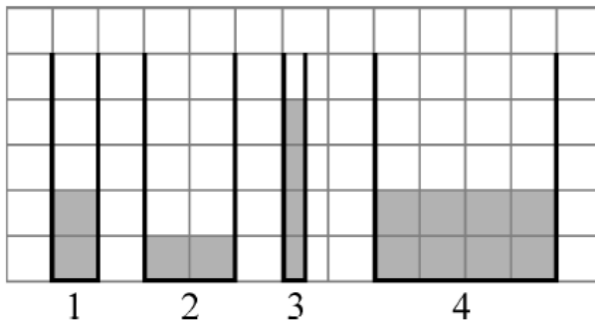


Рис. 31. К условию задачи 101

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Закон сохранения импульса

Импульс материальной точки. Импульсом материальной точки называют векторную величину, равную произведению массы точки на ее скорость: $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$.

Импульс силы. Импульсом постоянной силы F за время Δt называют векторную величину $\vec{F} \cdot \Delta t$.

Связь между приращением импульса материальной точки и импульсом силы. Второй закон Ньютона точки может быть сформулирован в виде теоремы об изменении импульса материальной точки: в инерциальной системе отсчета изменение импульса точки за некоторое время Δt равно импульсу действующей на нее силы за это же время:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t.$$

Импульс системы материальных точек. Центр масс системы материальных точек. Импульсом системы материальных точек называют векторную сумму импульсов всех N точек, входящих в систему, т.е.

$$\begin{aligned} \vec{p} &= m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 + \dots + m_N \cdot \vec{v}_N, \\ \vec{p} &= \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_N. \end{aligned}$$

Закон сохранения импульса системы является следствием сформулированного выше закона изменения импульса и гласит: если импульс внешних сил, приложенных к системе материальных точек, равен нулю, то импульс системы сохраняется.

Важным частным случаем является равенство нулю суммы внешних сил, действующих на систему (такие системы называются замкнутыми): импульс замкнутой системы сохраняется.

Реактивное движение. Большое значение имеет закон сохранения импульса для исследования *реактивного движения*. Под реактивным движением понимают движение тела, возникающее при отделении некоторой его части с определенной скоростью относительно тела, например при истечении продуктов сгорания из сопла реактивного летательного аппарата. При этом появляется так называемая *реактивная сила*, сообщающая телу ускорение. Главная особенность реактивной силы состоит в том, что она возникает без какого-либо взаимодействия с внешними телами. Происходит лишь взаимодействие между ракетой и вытекающей из нее струей вещества. Принцип реактивного движения основан на том, что истекающие из реактивного двигателя газы получают импульс. Такой же по модулю импульс приобретает ракета. Масса ракеты со временем убывает; ракета является телом переменной массы [3].

Основные формулы

РАБОТА, ЭНЕРГИЯ, МОЩНОСТЬ	
$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$	работа постоянной силы
$A = -\Delta E_p$	работа при перемещении тела
$N = \frac{A}{t}$	мощность
$N = F \cdot v$	мощность при равномерном движении
$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$	кинетическая энергия тела
$E_p = mgh$	потенциальная энергия поднятого тела
$E_p = \frac{k \cdot x^2}{2}$	потенциальная энергия упруго деформированного тела
$E = E_p + E_k = \text{const}$	закон сохранения механической энергии в замкнутой системе

РАБОТА, ЭНЕРГИЯ, МОЩНОСТЬ	
$A = \frac{m \cdot v^2_2}{2} - \frac{m \cdot v^2_1}{2}$	теорема о кинетической энергии
$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}}$	коэффициент полезного действия (КПД)
$\Delta \vec{p} = m \cdot \Delta \vec{v}$	изменение импульса
$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 =$ $= m_1 \cdot \vec{v}'_1 + m_2 \cdot \vec{v}'_2$	закон сохранения импульса для двух тел

Вопросы для самопроверки

1. При каком условии импульс тела не изменяется?
2. Что можно сказать о направлении векторов импульса и скорости движущегося тела?
3. Какое из тел имеет больший импульс: автомобиль массой 1 т, движущийся со скоростью 10 м/с, или снаряд массой 2 кг, летящий со скоростью 500 м/с?
4. Почему при ударе возникают большие силы?
5. Парашютист равномерно опускается на парашюте. Изменяется ли при этом импульс парашютиста?
6. Где в природе и технике встречается реактивное движение?
7. Каков принцип движения медузы?
8. осьминоги, кальмары, каракатицы и другие обитатели глубин моря перемещаются подобно ракете, выбрасывая с силой воду, которую они набирают через рот. Может ли такой способ перемещения обеспечить им большую скорость движения в толще воды?
9. Как космонавту, находящемуся в открытом космосе, вернуться обратно на космический корабль без посторонней помощи?
10. Почему советуют ружье покрепче прижимать к плечу при выстреле?

**Алгоритм решения задач
на закон сохранения импульса**

1. Выбрать систему отсчета.
2. Выделить систему взаимодействующих тел и выяснить, какие силы для нее являются внутренними, а какие – внешними.
3. Определить импульсы всех тел системы до и после взаимодействия.
4. Если в целом система незамкнутая, но сумма проекций сил на одну из осей равна нулю, то следует написать закон сохранения лишь в проекциях на эту ось.
5. Если внешние силы пренебрежимо малы в сравнении с внутренними (как в случае удара тел), то следует написать закон сохранения суммарного импульса в векторной форме и перейти к скалярной.
6. Если на тела системы действуют внешние силы и ими нельзя пренебречь, то следует написать закон изменения импульса в векторной форме и перейти к скалярной.

Решение задачи

Тележка массой 400 кг движется со скоростью 4 м/с, а навстречу ей со скоростью 2 м/с едет вагонетка массой 60 кг. После неупругого соударения они движутся вместе. В каком направлении и с какой скоростью они будут двигаться?

Дано:
 $m_1 = 400 \text{ кг}$
 $m_2 = 60 \text{ кг}$
 $v_1 = 4 \text{ м/с}$
 $v_2 = 2 \text{ м/с}$

Найти:
 $v - ?$

Решение:

Общий импульс системы до и после соударения должен остаться неизменным:

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

Запишем закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную ось:

$$m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v.$$

Выразим искомую величину:

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2}{(m_1 + m_2)}.$$

Вычислим значение:

$$v = \frac{400 \cdot 4 - 60 \cdot 2}{(400 + 60)} = 0,4 \text{ м/с}.$$

Ответ: 0,4 м/с.

Задачи для самостоятельного решения

102. Поезд массой 2 000 т, двигаясь прямолинейно, уменьшил скорость от 54 до 36 км/ч. Чему равно изменение импульса поезда?

103. Теннисный мяч массой 100 г ударяется о стену и отскакивает от нее с такой же по модулю скоростью. Чему равно изменение импульса мяча?

104. Шарик массой 200 г равномерно вращается по окружности со скоростью 0,8 м/с. Чему равен модуль импульса шарика?

105. Движение тела массой 100 г описывается уравнением $x = 2 + 8t - 3t^2$. Определите модуль импульса тела в момент времени: 1с, 2 с, 3с.

106. Человек массой 70 кг, бегущий со скоростью 5 м/с, догоняет тележку массой 50 кг, движущуюся со скоростью 1 м/с и вскакивает на нее. С какой скоростью они будут двигаться после?

107. Два тела массами 200 и 500 г двигаются навстречу друг другу. После удара они остановились. Чему равна начальная скорость второго тела, если первое двигалось со скоростью 2 м/с?

108. Чему равна скорость вагонетки массой 2,4 т, движущейся со скоростью 2 м/с, после того как на нее был сброшен груз 500 кг?

109. От двухступенчатой ракеты общей массой 1 т в момент достижения скорости 171 м/с отделилась ее вторая ступень массой 0,4 т, скорость которой при этом увеличилась до 185 м/с. Определите скорость, с которой стала двигаться первая ступень ракеты.

110. Два шара движутся навстречу друг другу с одинаковой скоростью. Масса первого шара 1 кг. Какую массу должен иметь второй шар, чтобы после столкновения первый шар остановился, а второй покатился назад с прежней скоростью?

111. Человек массой 60 кг стоит на льду и ловит мяч массой 500 г, который летит горизонтально со скоростью 20 м/с. На какое расстояние откатится человек с мячом по поверхности льда, если коэффициент трения 0,05?

112. Плот массой 800 кг плывет по реке со скоростью 1 м/с. На плот с берега перпендикулярно направлению движения плота прыгает человек массой 80 кг со скоростью 2 м/с. Определите скорость плота с человеком.

113. На платформу массой 500 кг, двигавшуюся горизонтально со скоростью 0,2 м/с, насыпали сверху щебень массой 100 кг. Определите скорость платформы со щебнем.

114. Пуля массой 200 г ударила о стальную преграду под углом 30° к ее поверхности со скоростью 50 м/с и отскочила от нее. Удар абсолютно упругий. Чему равен импульс силы, полученный стенкой при ударе о нее пули?

115. Масса пули 10 г, ее скорость при вылете из ствола автомата 300 м/с. Сделано 300 выстрелов в минуту. Определите силу давления приклада автомата на плечо стрелка.

116. Охотник массой 70 кг стреляет, находясь в лодке. Угол между стволом ружья и горизонтом составляет 60° , масса дроби 35 г, ее начальная скорость 330 м/с. Найти скорость лодки в момент выстрела, если до него она была неподвижна.

117. Грузовик и легковой автомобиль движутся со скоростями $v_1 = 72$ км/ч и $v_2 = 108$ км/ч соответственно. Масса грузовика $m = 4000$ кг. Какова масса легкового автомобиля, если импульс грузовика больше импульса легкового автомобиля на 20000 кг·м/с?

118. На сани, стоящие на гладком льду, с некоторой высоты прыгает человек массой 50 кг. Проекция скорости человека на горизонтальную плоскость в момент соприкосновения с санями равна 4 м/с. Скорость саней с человеком после прыжка составила $0,8$ м/с. Чему равна масса саней?

119. Мальчик массой 50 кг находится на тележке массой 50 кг, движущейся по гладкой горизонтальной дороге со скоростью 1 м/с. Каким станет модуль скорости тележки, если мальчик прыгнет с нее со скоростью 2 м/с относительно дороги в направлении, противоположном первоначальному направлению движения тележки?

Механическая энергия. Закон сохранения энергии

Энергией называется скалярная физическая величина, являющаяся общей количественной мерой движения и взаимодействия всех видов материи. Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она может только переходить из одной формы в другую. Понятие энергии связывает воедино все явления природы.

Для характеристики различных форм движения материи вводятся соответствующие виды энергии, например механическая энергия, внутренняя энергия, энергия электромагнитных взаимодействий и др.

Механическая энергия E характеризует движение и взаимодействие тел и является функцией их скоростей и взаимного расположения. Она равна сумме кинетической и потенциальной энергий [11].

Кинетическая энергия материальной точки является мерой ее механического движения, зависящей от скорости ее движения в данной инерциальной системе отсчета. *Кинетической энергией* материальной точки называется скалярная величина:

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

При поступательном движении твердого тела его кинетическая энергия также определяется по формуле, где под m понимается масса тела, а под v – скорость любой из его точек (например, центра масс).

Для системы материальных точек:

$$E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + \dots + \frac{m_N v_N^2}{2}.$$

Отметим, что кинетическая энергия зависит от выбора системы отсчета. При переходе от одной системы отсчета к другой, движущейся относительно первой, кинетическая энергия тела изменяется.

Связь между приращением кинетической энергии тела и работой приложенных к телу сил. Из второго закона Ньютона следует закон изменения кинетической энергии материальной точки:

$$\Delta E_k = \frac{mv^2_2}{2} - \frac{mv^2_1}{2} = A_{12}.$$

Потенциальная энергия – это энергия взаимодействия тел, определяемая их взаимным расположением. Потенциальная энергия может быть введена для таких сил взаимодействия, которые зависят только от расстояний между телами системы (но не от их скоростей). Эти силы в механике выделяют в особый класс и называют *потенциальными* или *консервативными*. Потенциальными являются силы тяготения, силы упругости, кулоновские и архимедовы силы. Ра-

бота потенциальной силы не зависит от формы траектории тела и определяется только его начальным и конечным положением. Это эквивалентно утверждению, что работа потенциальной силы по любому замкнутому пути равна нулю.

Хотя потенциальная энергия – это энергия взаимодействия по крайней мере двух тел, часто бывает удобно при ее вычислении принять одно из взаимодействующих тел за неподвижное. В этом случае можно говорить о потенциальной энергии второго тела, находящегося под действием силы со стороны первого, и рассматривать эту силу как внешнюю. Так поступают, например, определяя потенциальную энергию тела в поле притяжения Земли.

Таким образом, *потенциальной энергией* E_n тела в некоторой точке M называют работу, которую совершает потенциальная сила при перемещении тела из точки M в точку, где потенциальная энергия равна нулю. Отметим, что потенциальная энергия определена с точностью до произвольной постоянной величины, значение которой зависит от выбора точки отсчета потенциальной энергии, в которой ее полагают равной нулю.

Зная потенциальную энергию, можно найти работу силы по перемещению тела из точки 1 в точку 2:

$$A_{12} = -\Delta E_n = E_{n1} - E_{n2}.$$

Потенциальная энергия тела вблизи поверхности Земли вычисляется по формуле:

$$E_n = m \cdot g \cdot h.$$

Потенциальная энергия упруго деформированного тела. Простейшей моделью упругих деформаций является растяжение или сжатие пружины. Потенциальная энергия тел, взаимодействующих посредством пружины, равна:

$$E_n = \frac{k \cdot x^2}{2}.$$

Закон сохранения механической энергии. Полной механической энергией E материальной точки называется сумма ее кинетической и потенциальной энергий:

$$E = E_n + E_k.$$

Вопросы для самопроверки

1. Какие из перечисленных тел обладают кинетической энергией: а) камень, поднятый над землей; б) летящий самолет; в) растянутая пружина.

2. Изменяется ли потенциальная энергия лодки, плывущей по течению реки?

3. Легковой и грузовой автомобили движутся с одинаковыми скоростями. Какой из них обладает большей кинетической энергией?

4. Как изменяется кинетическая и потенциальная энергия свободно падающего тела? Космического корабля, совершающего мягкую посадку?

5. Какие превращения энергии происходят при движении камня, брошенного вверх? Соппротивлением воздуха можно пренебречь.

6. При каком условии два тела разной массы, поднятые на разную высоту, будут обладать одинаковой потенциальной энергией?

7. Приведите примеры превращения кинетической энергии тела в потенциальную энергию и обратно.

8. Груз, подвешенный на нити (маятник), совершает колебания. Какие превращения энергии происходят при этом?

9. Падающий с высоты 2 м мячик подскочил на высоту 1,5 м. Как согласовать это с законом сохранения энергии?

10. За счет какой энергии взмывает вверх наполненный гелием воздушный шарик, вырвавшийся из рук?

**Алгоритм решения задач по теме
«Закон сохранения механической энергии»**

1. Выбрать систему отсчета.
2. Выбрать два или более таких состояний тел системы, чтобы в число их параметров входили как известные, так и искомые величины.
3. Выбрать нулевой уровень отсчета потенциальной энергии.
4. Определить, какие силы действуют на тело системы: потенциальные или не потенциальные.
5. Если на тело системы действуют только потенциальные силы, написать закон сохранения механической энергии в виде: $E_1 = E_2$.
6. Раскрыть значения энергии в каждом состоянии и, подставив их в уравнение закона сохранения энергии, решить уравнение сохранения относительно искомой величины.

Решение задачи

На какую высоту поднимется тело, брошенное вертикально вверх, с начальной скоростью 10 м/с? При решении задачи не учитывается сопротивление воздуха.

Дано:
 $v_0 = 10 \text{ м/с}$

Найти:
 $h - ?$

Решение:

По закону сохранения энергии, начальная кинетическая энергия брошенного тела будет равна его потенциальной энергии в наивысшей точке подъема:

$$E_n = E_k,$$
$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v_0^2}{2},$$
$$g \cdot h = \frac{v_0^2}{2},$$

$$h = \frac{v_0^2}{2g}.$$

Вычислим значение:

$$h = \frac{10^2}{2 \cdot 10} = 5 \text{ м.}$$

Ответ: 5 м.

Задачи для самостоятельного решения

120. Свинцовый шар массой 500 г двигался со скоростью 10 м/с и неупруго столкнулся с неподвижным шаром массой 200 г. Найдите кинетическую энергию обоих шаров после столкновения.

121. Тело бросили с земли вверх со скоростью 4 м/с. На какой высоте его потенциальная и кинетическая энергии станут одинаковыми? Сопротивлением пренебречь.

122. Гиря, положенная сверху на вертикальную пружину, сжимает ее на 1 мм. Если эту гирю бросить на пружину со скоростью 0,2 м/с с высоты 10 см, какой станет деформация пружины?

123. Снаряд массой 5 кг вылетел из дула орудия под углом 60° к горизонту со скоростью 400 м/с. Чему равна его кинетическая энергия в высшей точке траектории?

124. Автомобиль массой 5 т движется со скоростью 72 км/ч. Какая работа должна быть совершена для его остановки?

125. Кинетическая энергия тела в момент бросания равна 200 Дж. Определите, до какой высоты от поверхности земли может подняться тело, если его масса равна 500 г.

126. Камень массой 20 г, выпущенный вертикально вверх из рогатки, резиновый жгут которой был растянут на 20 см, поднялся на высоту 40 м. Найдите жесткость жгута. Сопротивлением пренебречь.

127. Пуля массой 10 г влетает в доску толщиной 5 см со скоростью 800 м/с и вылетает из нее со скоростью 100 м/с. Какова сила сопротивления, действующая на пулю внутри доски?

128. Какую работу совершает электровоз при увеличении скорости от 36 км/ч до 54 км/ч поезда массой 3 000 т?

129. Башенный кран поднимает бетонную плиту массой 2 т на высоту 15 м. Чему равна работа силы тяжести, действующей на плиту?

130. Рассчитайте работу, которую необходимо совершить при подъеме тела массой 500 кг на высоту 4 м, если его скорость при этом увеличилась от нуля до 2 м/с.

131. Человек взялся за конец лежащего на земле однородного стержня длиной 2 м и массой 100 кг и поднял этот конец на высоту 1 м. Какую работу он совершил?

132. Определите скорость тела, брошенного с начальной скоростью 15 м/с под углом к горизонту, на высоте 10 м. Сопротивлением пренебречь.

133. Камень массой 1 кг брошен вертикально вверх с начальной скоростью 4 м/с. На сколько увеличится потенциальная энергия камня от начала движения к тому времени, когда скорость камня уменьшится до 2 м/с?

134. Лебедка равномерно поднимает груз массой 200 кг на высоту 3 м за 5 с. Какова мощность двигателя лебедки? (Ответ дайте в ваттах.) Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Колебания – это повторяющиеся во времени изменения состояния системы. Понятие колебаний охватывает очень широкий круг явлений.

Колебания механических систем, или *механические колебания*, – это механическое движение тела или системы тел, которое обладает повторяемостью во времени и происходит в окрестности положения равновесия. *Положением равновесия* называется такое положение системы, в котором она может оставаться сколь угодно долго (будучи помещена в это положение в состоянии покоя).

Например, если маятник отклонить и отпустить, то начнутся колебания. *Положение равновесия* – это положение маятника при отсутствии отклонения. В этом положении маятник, если его не трогать, может пребывать сколь угодно долго. При колебаниях маятник много раз проходит положение равновесия.

Сразу после того, как отклоненный маятник отпустили, он начал двигаться, прошел положение равновесия, достиг противоположного крайнего положения, на мгновение остановился в нем, двинулся в обратном направлении, снова прошел положение равновесия и вернулся назад. Совершилось одно *полное колебание*. Дальше этот процесс будет периодически повторяться.

Амплитуда колебаний тела – это величина его наибольшего отклонения от положения равновесия.

Период колебаний T – это время одного полного колебания. Можно сказать, что за период тело проходит путь в четыре амплитуды.

Частота колебаний ν – это величина, обратная периоду: $\nu = 1/T$. Частота измеряется в герцах (Гц) и показывает, сколько полных колебаний совершается за одну секунду [10].

Гармонические колебания

Будем считать, что положение колеблющегося тела определяется одной-единственной координатой x . Положению равновесия отвечает значение $x = 0$. Основная задача механики в данном случае состоит в нахождении функции $x(t)$, дающей координату тела в любой момент времени.

Для математического описания колебаний естественно использовать периодические функции. Таких функций много, но две из них – синус и косинус – являются самыми важными. У них много хороших свойств, и они тесно связаны с широким кругом физических явлений.

Поскольку функции синус и косинус получаются друг из друга сдвигом аргумента на $\pi/2$, можно ограничиться только одной из них. Мы для определенности будем использовать косинус.

Гармонические колебания – это колебания, при которых координата зависит от времени по *гармоническому закону*:

$$x = A \cos (\omega t + \alpha).$$

Выясним смысл входящих в эту формулу величин.

Положительная величина A является наибольшим по модулю значением координаты (так как максимальное значение модуля косинуса равно единице), т.е. наибольшим отклонением от положения равновесия. Поэтому A – амплитуда колебаний.

Аргумент косинуса $\omega t + \alpha$ называется *фазой* колебаний. Величина α , равная значению фазы при $t = 0$, называется *начальной фазой*. Начальная фаза отвечает начальной координате тела:

$$x_0 = A \cos \alpha.$$

Величина ω называется *циклической частотой*. Найдем ее связь с периодом колебаний T и частотой ν . Одному полному колебанию отвечает приращение фазы, равное 2π радиан:

$$\omega T = 2\pi,$$

откуда

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

$$\omega = 2\pi\nu.$$

Измеряется циклическая частота в рад/с (радиан в секунду). В результате получаем еще две формы записи гармонического закона:

$$x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \alpha\right),$$

$$x = A \cos(2\pi\nu t + \alpha).$$

График функции, выражающей зависимость координаты от времени при гармонических колебаниях, приведен на рис. 32.

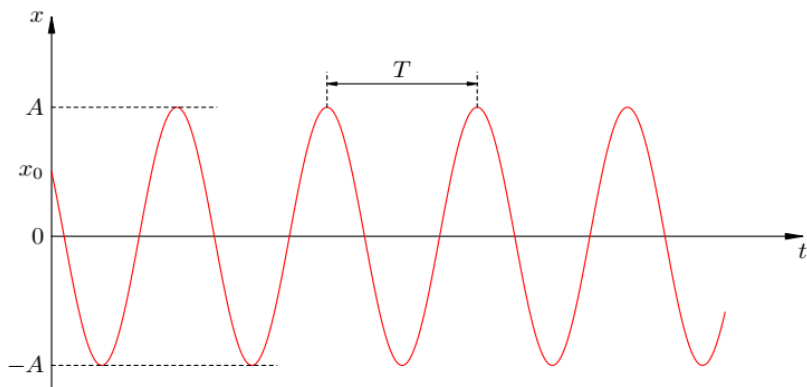


Рис. 32. График гармонических колебаний

Гармонический закон вида $x = A \cos(\omega t + \alpha)$ носит самый общий характер. Он отвечает, например, ситуации, когда с маятником совершили одновременно два начальных действия: отклонили на величину x_0 и придали ему некото-

рую начальную скорость. Имеются два важных частных случая, когда одно из этих действий не совершалось [5].

Пусть маятник отклонили, но начальной скорости не сообщали (отпустили без начальной скорости). Ясно, что в этом случае $x_0 = A$, поэтому можно считать, что $\alpha = 0$. Получим закон косинуса:

$$x = A \cos \omega t.$$

График гармонических колебаний в этом случае представлен на рис. 33.

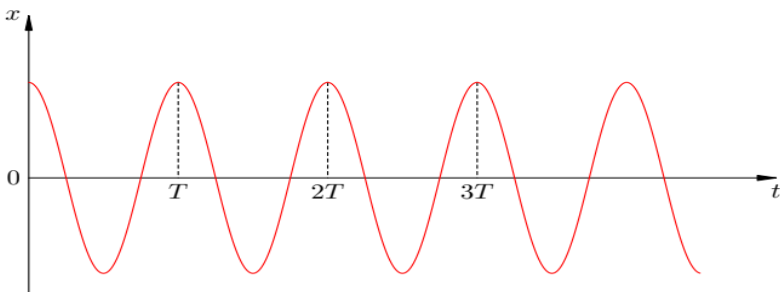


Рис. 33. Закон косинуса

Допустим, что маятник не отклоняли, но ударом сообщали начальную скорость из положения равновесия (рис. 34). В этом случае $x_0 = 0$, можно считать $\alpha = -\pi/2$. Получаем закон синуса:

$$x = A \sin \omega t.$$

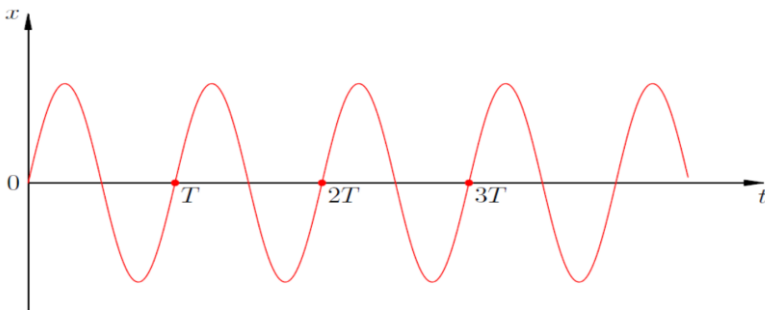
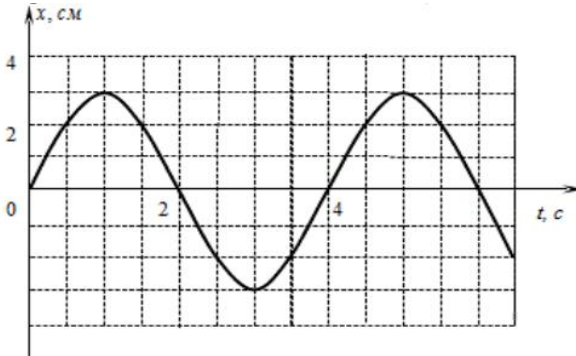


Рис. 34. Закон синуса

Решение задачи

На рисунке дан график зависимости координаты материальной точки от времени. Какова частота колебаний?



Решение

Из графика видно, что период колебаний $T = 4$ с. Между периодом и частотой существует обратная зависимость:

$$\vartheta = \frac{1}{T}.$$

Подставим числовые данные и получим:

$$\vartheta = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ Гц.}$$

Ответ: 0,25 Гц.

Пружинный маятник

Пружинный маятник – это закрепленный на пружине груз, способный совершать колебания в горизонтальном или вертикальном направлении.

Найдем период малых горизонтальных колебаний пружинного маятника (рис. 35). Колебания будут *малыми*, если величина деформации пружины много меньше ее размеров. При малых деформациях мы можем пользоваться законом Гука. Это приведет к тому, что колебания окажутся гармоническими.

Трением пренебрегаем. Груз имеет массу m , жесткость пружины равна k .

Координате $x = 0$ отвечает положение равновесия, в котором пружина не деформирована. Следовательно, величина деформации пружины равна модулю координаты груза.

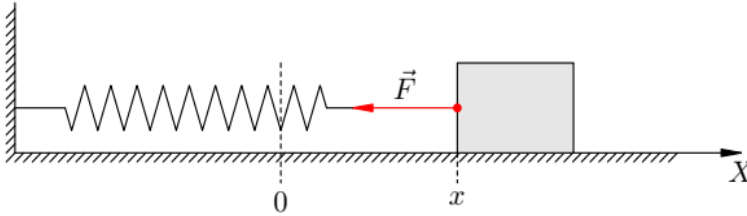


Рис. 35. Пружинный маятник

В горизонтальном направлении на груз действует только сила упругости \vec{F} со стороны пружины. Второй закон Ньютона для груза в проекции на ось X имеет вид:

$$ma_x = F_x.$$

Если $x > 0$ (груз смещен вправо, как на рисунке), то сила упругости направлена в противоположную сторону, и $F_x < 0$. Наоборот, если $x < 0$, то $F_x > 0$. Знаки x и F_x все время противоположны, поэтому закон Гука можно записать так:

$$F_x = -kx.$$

Тогда соотношение принимает вид:

$$ma_x = -kx$$

или

$$a_x = -\frac{k}{m}x.$$

Отсюда уравнение гармонических колебаний принимает вид, в котором

$$\omega^2 = \frac{k}{m}.$$

Циклическая частота колебаний пружинного маятника, таким образом, равна:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Отсюда и из соотношения $T = 2\pi/\omega$ находим период горизонтальных колебаний пружинного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Если подвесить груз на пружине, то получится пружинный маятник, совершающий колебания в вертикальном направлении.

Математический маятник

Математический маятник – это небольшое тело, подвешенное на невесомой нерастяжимой нити (рис. 36). Математический маятник может совершать колебания в вертикальной плоскости в поле силы тяжести.

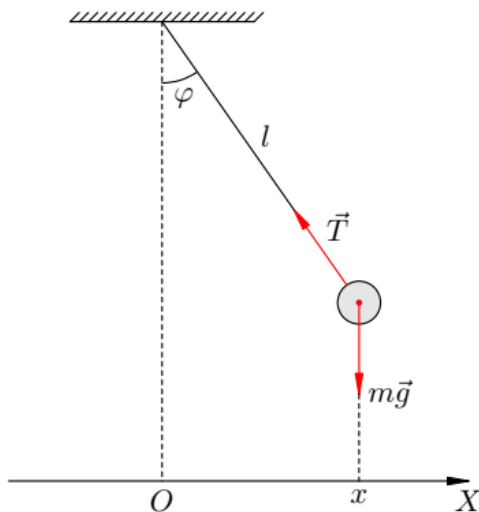


Рис. 36. Математический маятник

Найдем период малых колебаний математического маятника. Длина нити равна l . Соппротивлением воздуха \vec{a} пре-небрегаем.

Запишем для маятника второй закон Ньютона:

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

и спроектируем его на ось X :

$$ma_x = T_x.$$

Если маятник занимает положение как на рисунке (т.е. $x > 0$), то:

$$T_x = -T \sin \varphi = -T \frac{x}{\ell}.$$

Если же маятник находится по другую сторону от положения равновесия (т. е. $x < 0$), то:

$$T_x = T \sin \varphi = -T \frac{x}{\ell}.$$

Итак, при любом положении маятника имеем:

$$ma_x = -T \frac{x}{\ell}.$$

Когда маятник покоится в положении равновесия, выполнено равенство $T = mg$. При малых колебаниях, когда отклонения маятника от положения равновесия малы (по сравнению с длиной нити), выполнено приближенное равенство $T \approx mg$. Воспользуемся им в формуле:

$$ma_x = -mg \frac{x}{\ell}$$

или

$$a_x = -\frac{g}{\ell}x.$$

Это уравнение гармонических колебаний вида, в котором

$$\omega^2 = \frac{g}{\ell}.$$

Следовательно, циклическая частота колебаний математического маятника равна:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}.$$

Отсюда период колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}.$$

Обратите внимание, что в формулу не входит масса груза. В отличие от пружинного маятника, период колебаний математического маятника не зависит от его массы.

Свободные и вынужденные колебания

Говорят, что система совершает *свободные колебания*, если она однократно выведена из положения равновесия и в дальнейшем предоставлена сама себе. Никаких периодических внешних воздействий система при этом не испытывает, и никаких внутренних источников энергии, поддерживающих колебания, в системе нет.

Рассмотренные выше колебания пружинного и математического маятников являются примерами свободных колебаний. Частота, с которой совершаются свободные колебания, называется *собственной частотой* колебательной системы. Так, формулы дают собственные (циклические) частоты колебаний пружинного и математического маятников.

В идеализированной ситуации при отсутствии трения свободные колебания являются *незатухающими*, т. е. имеют постоянную амплитуду и длятся неограниченно долго. В реальных колебательных системах всегда присутствует трение, поэтому свободные колебания постепенно затухают (рис. 37).

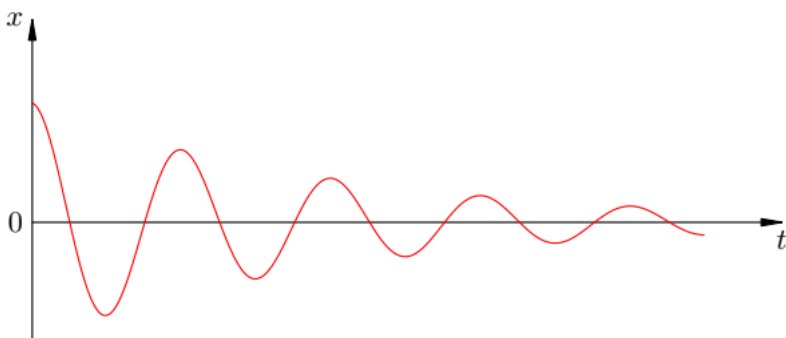


Рис. 37. Затухающие колебания

Вынужденные колебания — это колебания, совершаемые системой под воздействием внешней силы $F(t)$, периодически изменяющейся во времени (так называемой *вынуждающей силы*). Предположим, что собственная частота колебаний системы равна ω_0 , а вынуждающая сила зависит от времени по гармоническому закону:

$$F(t) = F_0 \cos \omega t.$$

В течение некоторого времени происходит установление вынужденных колебаний: система совершает сложное движение, которое является наложением вынужденных и свободных колебаний. Свободные колебания постепенно затухают, и в установившемся режиме система совершает вынужденные колебания, которые также оказываются гармоническими.

Частота установившихся вынужденных колебаний совпадает с частотой ω вынуждающей силы (внешняя сила как бы навязывает системе свою частоту).

Амплитуда установившихся вынужденных колебаний зависит от частоты вынуждающей силы. График этой зависимости показан на рис. 38.

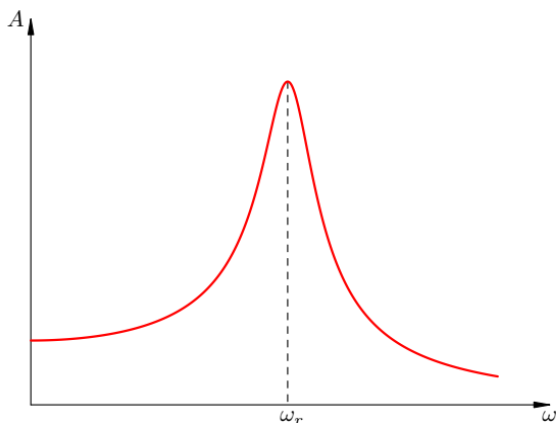


Рис. 38. Резонанс

Мы видим, что вблизи частоты $\omega = \omega_r$ наступает *резонанс* — явление возрастания амплитуды вынужденных колебаний. Резонансная частота приблизительно равна собственной частоте колебаний системы: $\omega_r \approx \omega_0$, и это равенство выполняется тем точнее, чем меньше трение в системе. При отсутствии трения резонансная частота совпадает с собственной частотой колебаний, $\omega_r = \omega_0$, а амплитуда колебаний возрастает до бесконечности при $\omega \rightarrow \omega_0$ [11].

Механические волны.

Продольные и поперечные волны

Механические волны — это процесс распространения в пространстве колебаний частиц упругой среды (твёрдой, жидкой или газообразной). Наличие у среды упругих свойств является необходимым условием распространения волн: деформация, возникающая в каком-либо месте, благодаря взаимодействию соседних частиц последовательно передается от одной точки среды к другой. Различным типам деформаций будут соответствовать разные типы волн.

Волна называется *продольной*, если частицы среды колеблются параллельно направлению распространения волны. Продольная волна состоит из чередующихся деформаций растяжения и сжатия. На рис. 39 показана продольная волна, представляющая собой колебания плоских слоев среды; направление, вдоль которого колеблются слои, совпадает с направлением распространения волны (т. е. перпендикулярно слоям).

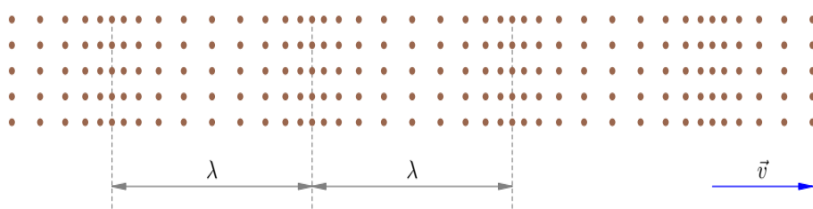


Рис. 39. Продольная волна

Волна называется *поперечной*, если частицы среды колеблются перпендикулярно направлению распространения волны. Поперечная волна вызывается деформациями сдвига одного слоя среды относительно другого. На рис. 40 каждый слой колеблется вдоль самого себя, а волна идет перпендикулярно слоям [2].

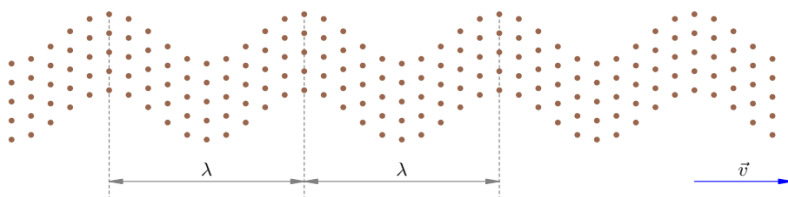


Рис. 40. Поперечная волна

Продольные волны могут распространяться в твердых телах, жидкостях и газах: во всех этих средах возникает

упругая реакция на сжатие, в результате которой появятся бегущие друг за другом сжатия и разрежения среды.

Однако жидкости и газы, в отличие от твердых тел, не обладают упругостью по отношению к сдвигу слоев. Поэтому поперечные волны могут распространяться в твердых телах, но не внутри жидкостей и газов. На поверхности жидкости могут существовать волны особого типа, похожие на поперечные – так называемые *поверхностные волны*. Они возникают под действием силы тяжести и силы поверхностного натяжения.

Важно отметить, что частицы среды при прохождении волны совершают колебания вблизи неизменных положений равновесия, т. е. в среднем остаются на своих местах. Волна, таким образом, осуществляет *перенос энергии, не сопровождаящийся переносом вещества*.

Наиболее просты для изучения *гармонические волны*. Они вызываются внешним воздействием на среду, меняющимся по гармоническому закону. При распространении гармонической волны частицы среды совершают гармонические колебания с частотой, равной частоте внешнего воздействия. Гармоническими волнами мы в дальнейшем и ограничимся.

Рассмотрим процесс распространения волны более подробно. Допустим, что некоторая частица среды (частица 1) начала совершать колебания с периодом T . Действуя на соседнюю частицу 2, она потянет ее за собой. Частица 2, в свою очередь, потянет за собой частицу 3 и т. д. Так возникнет волна, в которой все частицы будут совершать колебания с периодом T . Однако частицы имеют массу, т. е. обладают инертностью. На изменение их скорости требуется некоторое время. Следовательно, частица 2 в своем движении будет несколько отставать от частицы 1, частица 3 будет от-

ставать от частицы 2 и т. д. Когда частица 1, спустя время T , завершит первое колебание и начнет второе, свое первое колебание начнет частица $N + 1$, находящаяся от частицы 1 на некотором расстоянии λ .

Итак, за время, равное периоду колебаний частиц, возмущение среды распространяется на расстояние λ . Это расстояние называется *длиной волны*. Колебания частицы $N + 1$ будут идентичны колебаниям частицы 1, колебания следующей частицы $N + 2$ будут идентичны колебаниям частицы 2 и т. д. Колебания как бы воспроизводят себя на расстоянии λ . Поэтому длину волны λ можно назвать *пространственным периодом* колебаний; наряду с временным периодом T она является важнейшей характеристикой волнового процесса. В продольной волне длина волны равна расстоянию между соседними сжатиями или разрежениями (рис. 32), в поперечной – расстоянию между соседними гребнями или впадинами (рис. 33). Таким образом, длина волны равна расстоянию (вдоль направления распространения волны) между двумя ближайшими частицами среды, колеблющимися *одинаково* (т. е. с разностью фаз, равной 2π).

Скоростью распространения волны называется отношение длины волны к периоду колебаний частиц среды:

$$v = \frac{\lambda}{T}.$$

Частотой волны называется частота колебаний частиц:

$$\vartheta = \frac{1}{T}.$$

Отсюда получаем связь скорости волны, длины волны и частоты:

$$v = \lambda\vartheta.$$

Решение задачи

Охотник выстрелил, находясь на расстоянии 170 м от лесного массива. Через сколько времени после выстрела охотник услышит эхо?

<i>Дано:</i> $S = 170 \text{ м}$ $v = 340 \text{ м/с}$	<i>Решение:</i> При решении необходимо учесть, что волна проходит удвоенное расстояние прежде, чем достигнет уха наблюдателя.
<i>Найти:</i> $t - ?$	$t = \frac{2S}{v}.$ Откуда имеем: $t = \frac{2 \cdot 170 \text{ м}}{340 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 1 \text{ с}.$ <i>Ответ:</i> 1 с.

Звук. Звуковые волны

Звуковыми волнами в широком смысле называются всякие волны, распространяющиеся в упругой среде. В узком смысле *звуком* называют звуковые волны в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц, воспринимаемые человеческим ухом. Ниже этого диапазона лежит область *инфразвука*, выше – область *ультразвука* [8].

К основным характеристикам звука относятся *громкость* и *высота*. Громкость звука определяется амплитудой колебаний давления в звуковой волне и измеряется в специальных единицах – *децибелах* (дБ). Так, громкость 0 дБ является порогом слышимости, 10 дБ – тиканье часов, 50 дБ – обычный разговор, 80 дБ – крик, 130 дБ – верхняя граница слышимости (так называемый *болевой порог*). Для наглядности приведем некоторые значения громкости звука окружающих нас объектов и явлений (табл. 1).

Таблица 1 – Значения громкости звука

Степень опасности	Источник звука	Уровень шума, дБ
Безопасно	Шепот	1
	Шелест листьев	17
	Перелистывание газет	20
	Прибой на берегу	40
Не опасно	Разговор средней громкости	50
	Громкий разговор	70
	Поезд в метро	80
	Мотоцикл	90
Вызывает нарушение слуха	Концерт рок-музыки	100
	Раскат грома	110
	Реактивный двигатель	110
Вызывает болезненные ощущения	Бензопила	115
	Выстрел из орудия	120
	Автоматная очередь	140

Тон – это звук, который издает тело, совершающее гармонические колебания (например, камертон или струна). Высота тона определяется частотой этих колебаний: чем выше частота, тем выше нам кажется звук. Так, натягивая струну, мы увеличиваем частоту ее колебаний и, соответственно, высоту звука. Скорость звука в разных средах различна: чем более упругой является среда, тем быстрее в ней распространяется звук. В жидкостях скорость звука больше, чем в газах, а в твердых телах – больше, чем в жидкостях.

Например, скорость звука в воздухе при 0 °С равна примерно 340 м/с. В воде звук распространяется со скоростью около 1 500 м/с, а в стали – около 5 000 м/с. Заметим, что частота звука от данного источника во всех средах одна и та же: частицы среды совершают вынужденные колебания

с частотой источника звука. В заключении отметим, что при переходе из одной среды в другую наряду со скоростью звука изменяется длина звуковой волны [10].

Вопросы для самопроверки

1. Механические волны представляют собой...
2. Что такое поперечные волны?
3. Чем отличаются продольные волны от поперечных?
4. В каких средах могут распространяться продольные и поперечные волны?
5. Может ли переноситься энергия и вещество при распространении волн?
6. Что называют звуковой волной?
7. От каких параметров зависит громкость звука?
8. Каким показателем определяется высота тона?
9. Возможно ли распространение волн в безвоздушном пространстве?
10. В какой среде звук распространяется быстрее?
11. В каком диапазоне находится звук, который мы слышим?
12. Что такое ультразвук?
13. Что такое инфразвук?
14. Что такое эхолокатор? Объясните принцип действия.
15. Почему в пустом зрительном зале звук громче и раскатистей, чем в зале, заполненном публикой?

Решение задачи

Голосовые связки певца, поющего тенором (высоким мужским голосом), колеблются с частотой от 130 до 520 Гц. Определите максимальную и минимальную длину излучаемой звуковой волны в воздухе. Скорость звука в воздухе 330 м/с.

<p><i>Дано:</i> $\vartheta_1 = 130$ Гц $\vartheta_2 = 520$ Гц $v = 320$ м/с</p>	<p><i>Решение:</i> Длина волны связана с частотой:</p> $\lambda = \frac{v}{\vartheta}.$
<p><i>Найти:</i> $\lambda_1 - ?$ $\lambda_2 - ?$</p>	<p>Подставим значения и определим длину волн:</p> $\lambda_1 = \frac{320}{130} = 2,5 \text{ м},$ $\lambda_2 = \frac{320}{520} = 0,6 \text{ м}.$ <p><i>Ответ:</i> 2,5 м и 0,6 м.</p>

Задачи для самостоятельного решения

135. Определите длину волны с частотой 300 Гц, которая распространяется в воздухе со скоростью 340 м/с.

136. Найдите период колебания плота на волнах озера, если длина волны составляет 4 метра, а скорость распространения волн равна 2,5 м/с.

137. Определите сколько колебаний за 1 минуту совершает буюк на воде, если скорость распространения волн составляет 3 м/с, а длина волны равна 5 метрам.

138. По поверхности воды идут волны. Определите параметры волны (период колебания, длину волны, скорость распространения), если расстояние между первым и четвертым гребнями волн составляет 9 метров, а мимо наблюдателя за 10 секунд проходят 5 гребней волн.

139. Поплавок удочки рыбака за 40 секунд сделал 20 колебаний, а расстояние между соседними гребнями волн составило 2 метра. Какова была скорость распространения волны?

140. С лодки в воду бросили камень. По воде пошли круги-волны. Расстояние между соседними гребнями волн

составило 1 метр, а время, за которое волна дошла до берега, – 1 минуту. Причем волны накатывались на берег с интервалом в 2 секунды. На каком расстоянии от берега бросили камень?

141. За время полета 30 секунд муха делает 15 000 взмахов крыльями, а период колебания крыла комара составляет 1,6 миллисекунд. Во сколько раз отличаются частоты колебаний крыльев мухи и комара?

142. Шарик на нити совершил 60 колебаний за 2 мин. Определите период и частоту колебаний шарика.

143. На рисунке (рис. 41) изображен график зависимости координаты от времени колеблющегося тела.

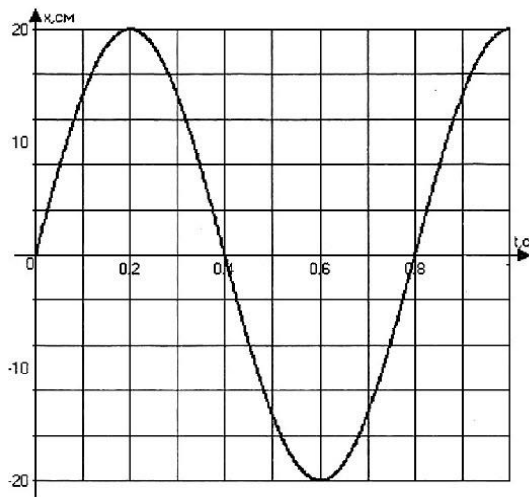


Рис. 41. К задаче 143

144. По графику (рис. 42) определите: 1) амплитуду колебаний; 2) период колебаний; 3) частоту колебаний; 4) запишите уравнение координаты.

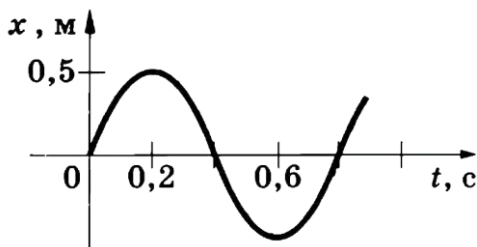


Рис. 42. К задаче 144

145. Амплитуда незатухающих колебаний точки струны 2 мм, частота колебаний 1 кГц. Какой путь пройдет точка струны за 0,4 с? Какое перемещение совершит эта точка за один период колебаний?

146. Какова длина математического маятника, совершающего гармонические колебания с частотой 0,5 Гц на поверхности Луны? Ускорение свободного падения на поверхности Луны $1,6 \text{ м/с}^2$.

147. Груз массой 400 г совершает колебания на пружине с жесткостью 250 Н/м. Амплитуда колебаний 15 см. Найти полную механическую энергию колебаний и наибольшую скорость движения груза.

148. Частота колебаний крыльев вороны в полете равна в среднем 3 Гц. Сколько взмахов крыльями сделает ворона, пролетев путь 650 м со скоростью 13 м/с?

149. Математический маятник длиной 0,99 м совершает 50 полных колебаний за 1 мин 40 с. Чему равно ускорение свободного падения в данном месте на поверхности Земли?

150. Два математических маятника за одно и то же время совершают первый $N_1 = 30$, а второй $N_2 = 40$ колебаний. Какова длина каждого из них, если разность их длин $\Delta l = 7 \text{ см}$?

151. Определите, во сколько раз будет отличаться длина звуковой волны при переходе из воздуха в воду. Считать,

что скорость распространения звука в воде $1\,450\text{ м/с}$, в воздухе 340 м/с .

152. Расстояние до преграды, отражающей звук, 68 м . Через какое время человек услышит эхо?

153. В результате выстрела было услышано эхо через 20 с после произведенного выстрела. Определите расстояние до лесного массива. Считать, что скорость звука 340 м/с .

154. При измерении глубины моря под кораблем при помощи эхолота оказалось, что моменты отправления и приема ультразвука разделены промежутком времени $0,6\text{ с}$. Какова глубина моря под кораблем?

155. Длина звуковой волны в воздухе для самого низкого мужского голоса достигает $4,3\text{ м}$, а для самого высокого женского голоса 25 см . Найдите частоты колебаний этих голосов.

156. Частотный диапазон рояля от 90 до $9\,000\text{ Гц}$. Найдите диапазон длин звуковых волн в воздухе.

157. Во время грозы человек услышал гром через 15 с после вспышки молнии. Как далеко от него произошел разряд?

158. Мотоциклист, движущийся по прямолинейному участку дороги, увидел, как человек, стоящий у дороги, ударил стержнем по висящему рельсу, а через 2 с услышал звук. С какой скоростью двигался мотоциклист, если он проехал мимо человека через 36 с после начала наблюдения?

159. Звук взрыва, произведенного в воде вблизи поверхности, приборы, установленные на корабле и принимающие звук по воде, зарегистрировали на 45 с раньше, чем он пришел по воздуху. На каком расстоянии от корабля произошел взрыв?

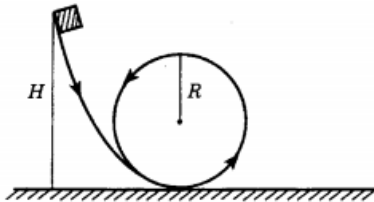
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

1. Движение самолетов описывается уравнениями: $x_1 = -6 + 24 \cdot t$ и $x_2 = 4 + 19 \cdot t$. Найдите место и время встречи; расстояние между ними через 3 с. Постройте графики $x(t)$.

2. С какой высоты уронили камень, если он достигает земли через 3 с после начала движения и какой будет скорость в момент удара о землю?

3. Автобус массой 5 т, двигаясь от остановки ускоренно, прошел 400 м. Сила тяги двигателя 5 000 Н. Коэффициент трения 0,05. Какую скорость приобретет автобус к концу разгона?

4. Небольшое тело, соскальзывая с некоторой высоты по наклонному желобу, делает мертвую петлю радиусом R . С какой минимальной высоты H оно должно соскользнуть, чтобы не сорваться в верхней точке петли? Трение не учитывать.



5. Пуля массой 10 г влетает в доску толщиной 5 см со скоростью 800 м/с и вылетает из нее со скоростью 100 м/с. Какова сила сопротивления, действующая на пулю внутри доски?

6. Пассажиры, находящиеся в движущемся автобусе, произвольно отклонились влево относительно направления движения. Как изменилось при этом движение автобуса? Какое физическое явление мы наблюдаем в данной ситуации?

7. Наташа выяснила, что папа должен быть на работе в 8:30. Расстояние, которое он должен проехать равно 31 км. При этом сначала дорога достаточно свободна, поэтому папина машина может двигаться со средней скоростью 70 км/ч. Но дальше начинаются участки с пробками, поэтому машина в течение 10 минут едет со средней скоростью 60 км/ч. Не позднее которого часа папе нужно выехать из дома, чтобы быть на работе вовремя?

8. Вагон массой 30 т, движущийся по горизонтальному пути со скоростью 1,5 м/с, автоматически на ходу сцепляется с неподвижным вагоном массой 20 т. С какой скоростью движется сцепка?

9. Два тела брошены вверх, достигли высот 10 м и 20 м и упали в ту же точку, откуда были брошены. Отличаются ли их пути и перемещения? Сделайте рисунок?

10. Установите соответствие между примерами и физическими явлениями, которые эти примеры иллюстрируют. Для каждого примера проявления физических явлений из первого столбца подберите соответствующее название физического явления из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ
а) полет артиллерийского снаряда,	1) движение по баллистической траектории в поле силы тяжести,
б) падение метеорита на поверхность Луны	2) движение тела под действием силы тяготения, 3) движение тела по инерции, 4) равномерное прямолинейное движение тела

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ФИЗИКЕ

1. Почему журавли и другие птицы во время дальних перелетов держатся косяком?

2. Пуля, попав в вареное яйцо, пробивает его, оставляя отверстие, а сырое яйцо разбивается пулей вдребезги. Почему?

3. Почему трудно хлопать в ладоши под водой?

4. Почему лоси могут ходить по снегу или болоту, не увязая?

5. Почему труднее вытаскивать морковь и другие корнеплоды из плотной почвы, чем из рыхлой?

6. Почему высоко в горах вывихи суставов у людей происходят чаще?

7. Почему при размешивании чая чайники собираются в центре стакана?

8. Зачем рыбе нужен плавательный пузырь?

9. Почему дрожат замерзающие люди и животные?

10. Почему наклоненный велосипед не падает при движении «на виражах»?

11. В опыте с «магдебургскими тарелками» Отто Герике впрягал 8 лошадей слева и 8 лошадей справа. Как можно было этим же количеством лошадей развить большую силу тяги?

12. Дерево проводит звук лучше, чем воздух. Почему же разговор, происходящий в соседней комнате, заглушается, когда дверь в комнату закрыта?

13. Прочитайте отрывок и ответьте на вопрос после него.

Рожь, рожь... Дорога полевая
Ведет неведомо куда.
Над степью низко провисая,
Лениво стонут провода...

(А. Твардовский)

Почему гудят провода?

14. Если ударить молотком по одному концу длинной металлической трубы, то стоящий у другого конца трубы услышит двойной удар. Почему?

15. В бутылку льют воду. Струя воды производит при этом шум определенного тона. По мере наполнения бутылки водой этот тон становится выше. Почему?

16. Прочитайте отрывок и ответьте на вопрос после него.

Темная ночь.
Только пули свистят по степи,
Только ветер гудит в проводах,
Тускло звезды мерцают.

(В. Агапов)

Почему звезды мерцают?

17. Железный кубик, лежащий на гладком стекле, притягивается к магниту, тоже лежащем на этом стекле. Кубик скользит по стеклу. Как он движется (каков характер его движения)?

18. Маятник сделан из сосуда с водой, подвешенного на длинной нити. Вода постепенно выливается через отверстие в дне сосуда. Как будет изменяться период маятника (массой сосуда пренебрегаем)?

19. Почему при близкой молнии слышен резкий оглушительный удар, а при далекой молнии – раскатистый гром?

20. Как достаточно быстро можно определить центр тяжести однородной палки, утяжеленной с одного конца?

21. Где пароход погружается глубже в воду: в реке или море? Почему?

22. Какие силы называют консервативными?

23. Что тяжелее: тонна дерева или тонна железа?

24. С какой скоростью должен двигаться автомобиль, чтобы красный свет семафора показался шоферу зеленым?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебно-практическое пособие «Механика» содержит теоретический материал и задания для практических работ, предусмотренных для выполнения в рамках самостоятельной работы по дисциплине «Естествознание. Физика».

Тщательно отобранные и систематизированные в соответствии с требованиями современных образовательных стандартов данные позволят студенту самостоятельно освоить материал курса, в том числе и в период дистанционного обучения. Данное пособие может быть использовано как на учебных занятиях, так и при самостоятельной подготовке.

Содержание курса уже несколько лет апробируется в рамках занятий со студентами очного отделения колледжа ЮУрГГПУ по направлениям подготовки «Преподавание в начальных классах», «Дошкольное образование», «Специальное дошкольное образование», «Физическая культура».

Автор с благодарностью примет замечания и предложения от читателей, интересующихся физикой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кабардин О.Ф. История физики и развитие представлений о мире: элективный курс: 10–11-й класс: учеб. пособие / О.Ф. Кабардин. – Москва: АСТ: Астрель: Транзиткнига, 2005. – 318 с. – ISBN 5-17-029247-3.
2. Карпушев А.В. Физический практикум: учебно-методическое пособие / А.В. Карпушев. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2015. – 218 с. – ISBN 978-5-906777-34-8.
3. Козел С.М. Физика 10–11 класс: пособие для учащихся в 2 ч: Ч. 1. / С.М. Козел – Москва: Мнемозина, 2010. – 285 с. – ISBN: 978-5-346-01629-8.
4. Образовательные ресурсы Интернета – Физика: [сайт]. – URL: www.alleng.ru/edu/phys.htm (дата обращения: 22.11.2022).
5. Сборник задач по физике. 10–11 классы / Е.Г. Московкина, В.А. Волков. – Москва: ВАКО, 2019. – 320 с. – ISBN 978-5-408-04332-3.
6. Сборник задач по физике. 10–11 классы: пособие для учащихся общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни / Н.А. Парфентьева. – Москва: Просвещение, 2010. – 206 с. – ISBN 978-5-09-024561-6.
7. Физика – увлекательная наука: энциклопедия / И.Е. Гусев. – Москва: АСТ, 2016. – 160 с. – ISBN 978-5-17-098812-9.
8. Физика. 10 класс: дидактические материалы / А.Е. Марон, Е.А. Марон. – Москва: Дрофа, 2007. – 145 с. – ISBN 978-5-358-14560-3.
9. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – Москва: Просвещение, 2014. – 366 с. – ISBN 978-5-09-028225-3.
10. Физика. Полный курс подготовки к ЕГЭ / И.В. Яковлев. – Москва: МЦНМО, 2016. – 508 с. – ISBN 978-5-4439-0934-9.
11. Физика. Сборник задач: учеб. пособие для ссузов / Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов. – Москва: Дрофа, 2007. – 303 с. – ISBN 978-5-358-01674-3.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Универсальные физические постоянные

Название	Обозначение	Численное значение	Единица измерения
Ускорение свободного падения	g	$9,81 \approx 10$	$\frac{м}{с^2}$
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$	$\frac{Н \cdot м}{кг^2}$
Универсальная газовая постоянная	R	8,31	$\frac{Дж}{К \cdot моль}$
Число Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$	$\frac{1}{моль}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$	$\frac{Дж}{К}$
Атомная единица массы	а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя электрона	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31}$	кг
Масса покоя протона	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,68 \cdot 10^{-27}$	кг
Элементарный электрический заряд	e	$-1,6 \cdot 10^{-19}$	Кл
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$	$\frac{м}{с}$

Приложение 2

Соотношения между единицами

1. Единицы длины

$$1 \text{ см} = 10 \text{ мм}$$

$$1 \text{ дм} = 10 \text{ см} = 100 \text{ мм}$$

$$1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 1\,000 \text{ мм}$$

$$1 \text{ км} = 1\,000 \text{ м} = 100\,000 \text{ см} = 1\,000\,000 \text{ мм}$$

$$1 \text{ дюйм} = 25,4 \text{ мм} = 2,54 \text{ см}$$

$$1 \text{ фут} = 12" = 30,48 \text{ см} = 0,3048 \text{ м}$$

$$1 \text{ ярд} = 3' = 36" = 91,44 \text{ см} = 0,9144 \text{ м}$$

$$1 \text{ миля} = 1\,760 \text{ ярдов} = 5\,280 \text{ футов} = 1\,609,344 \text{ м}$$

2. Единицы площади

$$1 \text{ мм}^2 = 0,000001 \text{ м}^2$$

$$1 \text{ см}^2 = 0,0001 \text{ м}^2$$

$$1 \text{ дм}^2 = 0,01 \text{ м}^2 = 100 \text{ см}^2$$

$$1 \text{ км}^2 = 1\,000\,000 \text{ м}^2$$

$$1 \text{ ар (сотка)} = 100 \text{ м}^2$$

$$1 \text{ га} = 100 \text{ ар} = 10\,000 \text{ м}^2$$

3. Единицы объема

$$1 \text{ мл} = 10^{-3} \text{ л} = 0,001 \text{ л}$$

$$1 \text{ л} = 0,001 \text{ м}^3$$

$$1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$$

$$1 \text{ дм}^3 = 1 \text{ л}$$

$$1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ мм}^3 = 10^{-9} \text{ м}^3$$

4. Единицы массы

$$1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$$

$$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг}$$

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$$

$$1 \text{ мкг} = 1/1000 \text{ мг} = 0,001 \text{ мг}$$

$$1 \text{ мг} = 1/1000 \text{ г} = 0,001 \text{ г}$$

$$1 \text{ фунт} = 16 \text{ унций} = 453,59237 \text{ г}$$

$$1 \text{ унция} = 28,349523125 \text{ г}$$

5. Единицы времени

$$1 \text{ мин} = 60 \text{ сек}$$

$$1 \text{ час} = 60 \text{ мин} = 3\,600 \text{ сек}$$

$$1 \text{ сутки} = 24 \text{ часа} = 1\,440 \text{ мин} = 86\,400 \text{ сек}$$

$$1 \text{ неделя} = 7 \text{ суток} = 168 \text{ ч} = 10\,080 \text{ мин} = 604\,800 \text{ сек}$$

$$1 \text{ год} = 365 \text{ суток} = 8\,760 \text{ ч} = 525\,600 \text{ мин} = 31\,536\,000 \text{ сек}$$

6. Единицы скорости

$$1 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 1 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 1 \frac{10 \text{ м}}{36 \text{ с}} \approx 0,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

7. Астрономические величины

$$\text{Радиус Земли} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$\text{Масса Земли} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

$$\text{Радиус Солнца} = 6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$\text{Масса Солнца} = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$$

$$\text{Радиус Луны} = 1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$\text{Масса Луны} = 7,33 \cdot 10^{22} \text{ кг}$$

$$\text{Расстояние от центра Земли до центра Солнца} = 1,49 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

$$\text{Расстояние от центра Земли до центра Луны} = 3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$$

Приложение 3

Темы сообщений по механике

1. Авиационные модели свободного полета.
2. Агрегатные состояния вещества.
3. Актуальные проблемы физики атмосферы.
4. Анизотропия кристаллов.
5. Аномальные свойства воды.
6. Античная механика.
7. Аристотель – величайший ученый древности.
8. Артериальное давление.
9. Архимед – древнегреческий математик, физик и инженер.
10. Атмосферное давление в жизни человека.
11. Аэродинамические трубы.
12. Баллистическое движение.
13. Биомеханические принципы в технике.
14. Бионика. Технический взгляд на живую природу.
15. Биофизика человека.
16. Бумеранг.
17. Вертикальный полет.
18. Ветер на службе у человека.
19. Вклад М.В. Ломоносова в развитие физической науки.
20. Влажность воздуха и ее влияние на жизнедеятельность человека.
21. Влияние невесомости на жизнедеятельность организмов.
22. Водяные часы.
23. Возобновляемые источники энергии.
24. Время и его измерение.
25. Единицы измерения физических величин.

26. Женщины – лауреаты Нобелевской премии по физике.
27. Жидкие кристаллы.
28. Загадки неньютоновской жидкости.
29. Изобретения Леонардо да Винчи, воплощенные в жизнь.
30. Инерция – причина нарушения правил дорожного движения.
31. Классическая механика Ньютона.
32. Роль рычагов в жизни человека и его спортивных достижениях.
33. Сегнерово колесо.
34. Сила притяжения.
35. Сила трения в природе.
36. Силы в природе и технике.
37. Современные вопросы физики XXI века.
38. Теория относительности.
39. Физика удивительных природных явлений.
40. Экспериментальные методы измерения ускорения свободного падения.

Требования к оформлению различных видов самостоятельной работы

4.1. Методические рекомендации по составлению презентаций

На первом слайде размещается: название презентации, сведения об авторе (ФИО, номер группы), название образовательной организации, год.

На втором слайде указывается содержание работы. Чтобы презентация была интерактивной, содержание работы рекомендуется оформить в виде гиперссылок.

На последнем слайде указывается список использованной литературы в соответствии с предъявляемыми требованиями, интернет-ресурсы указываются в последнюю очередь.

Оформление слайдов

Необходимо соблюдать единый стиль оформления, при этом стоит избегать стилей, которые будут отвлекать от содержания презентации. Вспомогательная информация (управляющие кнопки) не должна преобладать над основной информацией (текст, рисунки).

Для фона выбираются более холодные тона (синий или зеленый).

На одном слайде рекомендуется использовать не более трех цветов: один для фона, один для заголовков, один для текста. Для фона и текста используются контрастные цвета (белый фон – черный текст).

Особое внимание следует обратить на цвет гиперссылок (до и после использования).

Нужно использовать возможности компьютерной анимации для представления информации на слайде, но не стоит злоупотреблять различными анимационными эффектами; анимационные эффекты не должны отвлекать внимание от содержания информации на слайде.

Представление информации

Следует использовать короткие слова и предложения. Заголовки должны привлекать внимание аудитории. Предпочтительно горизонтальное расположение информации; наиболее важная информация должна располагаться в центре экрана; если на слайде располагается иллюстрация, надпись должна располагаться под ней.

Для заголовков рекомендуется использовать шрифты не менее 24 пт.; для остальной информации не менее 18 пт. Шрифты без засечек легче читать с большого расстояния. Нельзя смешивать разные типы шрифтов в одной презентации.

Следует использовать:

- для выделения – жирный шрифт, курсив или подчеркивание;

- для иллюстрации наиболее важных фактов – рамки, границы, заливку, штриховку, стрелки, рисунки, диаграммы, схемы. Не допускается неумеренное использование прописных букв (они читаются хуже, чем строчные).

Не стоит заполнять один слайд слишком большим объемом информации: оптимально для запоминания изложить не более трех фактов, выводов, определений. Наиболее эффективно размещение на одном слайде одного ключевого пункта.

Для обеспечения разнообразия следует использовать разные виды слайдов: с текстом, таблицами, диаграммами.

4.2. Методические рекомендации по оформлению докладов, сообщений, рефератов

Доклады, сообщения, рефераты имеют следующие части:

- титульный лист;
- оглавление (отражает план работы);
- введение;
- основную часть (главы и параграфы);
- заключение;
- библиографический список;
- приложение.

Каждая часть начинается с новой строки.

Все заголовки одного уровня оформляются одинаково. Заголовки «Оглавление», «Введение», «Заключение», «Приложения», «Библиографический список», а также заголовки глав и параграфов выделяются полужирным шрифтом.

Список библиографических источников оформляется под заголовком «Библиографический список» в соответствии с ГОСТом Р 7.0.100–2018. Он должен включать все использованные источники (монографии, учебники, пособия, справочники и т. д.). Сведения о книгах должны содержать: фамилию и инициалы автора, заглавие книги, место издания, издательство, год издания. Приведенные библиографические источники должны быть отсортированы в алфавитном порядке. Список должен состоять не менее, чем из трех источников последних 5–7 лет.

Приложения оформляются на отдельных листах, каждое приложение имеет порядковый номер и тематический заголовок. Надпись «Приложение 1» оформляется в правом верхнем углу.

Примерный объем работы – 10 листов А4 машинописного текста (без учета оглавления, библиографического списка и приложения).

Текст рукописи печатается шрифтом Times New Roman, размер 14, междустрочный интервал – 1,5.

Поля: слева – 3 см, справа – 1 см, сверху и снизу – 2 см.

Красная строка – 1,25 см. Интервал между абзацами не добавлять.

Цитаты в тексте работы заключаются в кавычки («...»). После цитаты оформляется ссылка на ее источник, например: [1, с. 10], где номер библиографического источника берется из библиографического списка.

Обращение к тексту приложения оформляется в виде ссылки следующим образом: (прил. 1).

Оформление схем алгоритмов, таблиц и формул. Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) могут быть в основном тексте реферата и в приложении. Все иллюстрации именуется рисунками. Все рисунки, таблицы и формулы нумеруются арабскими цифрами и имеют сквозную нумерацию в пределах приложения. Все рисунки и таблицы должны иметь название. Название рисунка (подпись) располагается под рисунком с обозначением рис. (Рис. 1. Схема движения), пишется с заглавной буквы. Точка после названия рисунка не ставится.

Название таблицы помещается над таблицей. В тексте работы на все рисунки и таблицы должны быть ссылки: на рисунке 1 (рис. 1) или в таблице 1 (табл. 1).

Номера страниц обозначаются арабскими цифрами, в нижнем правом углу страницы. Номер ставится на странице, начиная со страницы оглавления (с. 2). В работе используется сквозная нумерация до последней страницы.

В оглавлении указываются начальные страницы всех частей работы, приводятся полные названия глав со словом «Глава». Части работы «Введение», «Заключение», «Библиографический список» не нумеруются.

В основном тексте заголовки пишутся вверху по центру, без кавычек, точка после заголовков не ставится.

Названия глав, заголовки «Введение», «Заключение», «Библиографический список» располагаются с новой страницы; названия параграфов – на текущей странице.

Ниже приведены образцы оформления титульного листа, листа оглавления, примеры оформления различных источников в библиографическом списке.

Образец оформления титульного листа работы



**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)**

Колледж ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»

ФИЗИКА УДИВИТЕЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Реферат

Специальность 44.02.02 Преподавание в начальных классах

Дата сдачи: _____

Оценка _____

Подпись руководителя

Выполнил(а):

студентка группы ОФ-118-165-4-1

Голубева Виктория Валерьевна

Научный руководитель:

преподаватель колледжа

Селезнева Евгения Александровна

Челябинск

2023

Пример оформления оглавления работы

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Название	5
1.1.	5
1.2.	9
1.3.	12
Выводы по главе 1	14
Глава 2. Название	16
2.1.	16
2.2.	18
2.3.	20
Выводы по главе 2	22
Заключение	24
Библиографический список	26
Приложения	28

Примеры оформления библиографического описания в библиографическом списке

Библиографические описания в списке использованной литературы (Библиографический список) должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

Сокращения в библиографическом описании выполняются по ГОСТ Р 7.0.12-2011 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке» и ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках». Ссылки в тексте работы оформляются по ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Не сокращаются: заглавия, наименования мест изданий (городов).

Книги одного автора

Кабардин О.Ф. История физики и развитие представлений о мире: элективный курс: 10–11-й класс: учеб. пособие / О.Ф. Кабардин. – Москва: АСТ: Астрель: Транзиткнига, 2005. – 318 с. – ISBN 5-17-029247-3.

Книги двух/трех авторов

Пурышева Н.С. Физика. 10 класс. Базовый уровень: учеб. для общеобразоват. учреждений / Н.С. Пурышева, Н.Е. Важеевская, Д.А. Исаев. – Москва: Дрофа, 2012. – 255 с. – ISBN 978-5-358-11284-1.

Книги четырех и более авторов

Физика. Углубленный курс с решениями и указаниями. ЕГЭ, олимпиады, экзамены в вуз / Е.А. Вишнякова [и др.]; под ред. В.А. Макарова, С.С. Чеснокова. – 2-е изд. – Москва: БИНОМ.

Лаборатория знаний, 2014. – 414 с.: ил. – (ВМК МГУ – школе). – ISBN 978-5-9963-1821-6.

Словари и энциклопедии

Физика – увлекательная наука: энциклопедия / И.Е. Гусев. – Москва: АСТ, 2016. – 160 с. – ISBN 978-5-17-098812-9.

Законодательные материалы

Российская Федерация. Законы. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон № 273-ФЗ: [принят Государственной Думой 21 дек. 2012 г.: одобрен Советом Федерации 26 дек. 2012 г.]. – Москва, 2023. – 224 с.

Статьи из журналов

Королев М.Ю. Формирование естественнонаучной картины мира у учащихся средней школы на уроках естествознания / М.Ю. Королев, Н.И. Одинцова, Е.Б. Петрова // Физика в школе. – 2023. – № 2. – С. 3–9.

Электронные ресурсы

Сайты в сети Интернет

Образовательные ресурсы Интернета – Физика: [сайт]. – URL: www.alleng.ru/edu/phys.htm (дата обращения: 22.11.2022).

Статьи с сайтов

Гудасова А.Э. Удивительные свойства воды / А.Э. Гудасова, Г.В. Михальцевич // Юный ученый. – 2023. – № 2 (65). – С. 52–55. – URL: <https://moluch.ru/young/archive/65/3364/> (дата обращения: 02.04.2023).

Книги из ЭБС

Перинский В.В. Фонд физических законов и физико-технических эффектов: термины и понятия: словарь / В.В. Перинский, И.В. Перинская. – Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2020. –

84 с. – ISBN 978-5-4497-0414-6. – Текст: электронный // IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/90536.html> (дата обращения: 29.03.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – DOI: <https://doi.org/10.23682/90536>.

Физика: словарь-справочник / Е.С. Платунов [и др.]. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2014. – 798 с. – ISBN 978-5-7422-4217-8. – Текст: электронный // IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/43981.html> (дата обращения: 29.03.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.

Приложение 5

Критерии оценивания письменных работ

Отметка	Критерии
Отлично	Даны полные ответы на все задания в соответствии с требованиями условия задач, при необходимости приведены пояснения, схемы, рисунки (выполнены карандашом/цветными карандашами и по линейке, если это необходимо)
Хорошо	В письменном ответе имеются неточности, негрубые ошибки (одна – две), которые в целом не влияют на итоговый ответ; содержание вопроса раскрыто не полностью; отсутствует пояснение (рисунки, схемы)
Удовлетворительно	В письменном ответе имеются неточности, негрубые ошибки (более двух); задания не выполнены целиком или одно из них отсутствует полностью; на уточняющие вопросы студент затрудняется дать ответ
Неудовлетворительно	Работа выполнена на низком уровне: имеются грубые ошибки при решении; отсутствует часть решения в каждом задании или задания полностью; на уточняющие вопросы по решению задач студент затрудняется дать ответ; задания не сданы в установленный срок по неуважительной причине

Учебное издание

МЕХАНИКА

Учебно-практическое пособие

Составитель

Евгения Александровна Селезнева

ISBN 978-5-907790-38-4

Работа рекомендована РИС университета
Протокол № 27, 2022 г.

Издательство ЮУрГГПУ
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Технический редактор Т.Н. Никитенко

Источник изображений: math us! Дистанционная подготовка
к олимпиадам, ДВИ и ЕГЭ по математике и физике. – URL:
<https://mathus.ru/phys/index.php>.

Подписано в печать 10.04.2023 г. Формат 60×84/16.
Объем 3,4 уч.-изд. л. (7,6 усл. п. л.)
Тираж 100 экз. Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ЮУрГГПУ
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69