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

А.П. Зыкова, Т.В. Черкасова, Я.В. Королькова

ФИЗИКА

Часть 1

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
для иностранных граждан
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2020

УДК 811.161.1’243:53(075.8)
ББК Ш143.21-923
З-96

Зыкова А.П.

З-96 Физика : учебное пособие. В 2 частях. Часть 1 / А.П. Зыкова, Т.В. Черкасова, Я.В. Королькова ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 179 с.

В пособии в доступной языковой форме изложены основные вопросы механики. Содержит минимальную лексику, необходимую для объяснения физических явлений и законов. Включает в себя элементы рабочей тетради для выполнения языковых заданий и упражнений по физике разной степени сложности.

Предназначено для иностранных студентов подготовительного отделения университета, изучающих физику на русском языке.

УДК 811.161.1’243:53(075.8)
ББК Ш143.21-923

Рецензенты

Доктор физико-математических наук,
профессор Томского архитектурно-строительного университета
Л.И. Тришкина

Кандидат физико-математических наук,
доцент Томского архитектурно-строительного университета
Е.Н. Никоненко

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2020
© Зыкова А.П., Черкасова Т.В.,
Королькова Я.В., 2020
© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....5

РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕМЕНТЫ ВЕКТОРНОЙ АЛГЕБРЫ. ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ.....6

Тема 1.1. Скаляр и вектор.....6
1.1.1. Скаляр и вектор. Модуль вектора..... 6
1.1.2. Направление векторов 10

Тема 1.2. Вычитание векторов 14

Тема 1.3. Сложение векторов.....18

Тема 1.4. Умножение векторов 23

Тема 1.5. Система координат 25

Тема 1.6. Проекции вектора на оси координат.....29

Тема 1.7. Разложение вектора на составляющие.....32

Тема 1.8. Что изучает физика? 35

Тема 1.9. Физическое тело.....38

Тема 1.10. Физические явления 41

Тема 1.11. Физические величины 46
1.11.1. Физические величины и их единицы измерения 46
1.11.2. Экспериментальное измерение физических величин..... 49
1.11.3. Прямые и косвенные измерения. Погрешность 53
1.11.4. Графики и их анализ 58

РАЗДЕЛ 2. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ 62

Тема 2.1. Кинематика – часть механики. Относительность движения. Система отсчёта 62

Тема 2.2. Траектория. Вектор перемещения. Путь 65

Тема 2.3. Скорость.....68

Тема 2.4. Ускорение 74

Тема 2.5. Прямолинейное движение.....78
2.5.1. Прямолинейное движение с постоянной скоростью 80
2.5.2. Прямолинейное движение с постоянным ускорением 86
2.5.3. Вертикальное равнопеременное движение тела в поле силы тяжести 93
2.5.4. Движение тела, брошенного вертикально вверх..... 97

Тема 2.6. Криволинейное движение 101
2.6.1. Движение тела, брошенного в горизонтальном направлении 101
2.6.2. Движение тела, брошенного под углом к горизонту..... 106

Тема 2.7. Вращательное движение материальной точки.....111
2.7.1. Движение материальной точки по окружности 111
2.7.2. Равнопеременное движение по окружности..... 115

РАЗДЕЛ 3. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ.....120

Тема 3.1. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона 120

Тема 3.2. Сила.....122

Тема 3.3. Второй закон Ньютона 126

Тема 3.4. Третий закон Ньютона.....128

Тема 3.5. Импульс. Закон сохранения импульса.....131

Тема 3.6. Силы в механике 137
3.6.1. Сила всемирного тяготения. Сила тяжести 137
3.6.2. Сила упругости..... 140
3.6.3. Вес тела. Сила реакции опоры 143
3.6.4. Сила трения..... 147

Тема 3.7. Движение тела или системы тел в динамике 150

РАЗДЕЛ 4. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ.....155

Тема 4.1. Механическая работа.....155

Тема 4.2. Мощность. Коэффициент полезного действия 159

Тема 4.3. Кинетическая энергия.....161

Тема 4.4. Потенциальная энергия 164

Тема 4.5. Законы сохранения в механике 169

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 176

ПРИЛОЖЕНИЕ.....1768

Предисловие

Данное пособие с элементами рабочей тетради предназначено для студентов-иностранцев, начинающих изучать физику на русском языке на подготовительных отделениях высших учебных заведений. Пособие создано в соответствии с приказом Минобрнауки России от 3 октября 2014 г. № 1304 «Об утверждении требований к освоению дополнительных общеобразовательных программ, обеспечивающих подготовку иностранных граждан и лиц без гражданства к освоению профессиональных образовательных программ на русском языке». Целью использования учебного пособия по физике является закрепление знаний физической терминологии, умений и навыков в решении задач.

Учебный материал в пособии структурирован в виде разделов, внутри которых расположены темы, направленные на формирование фундаментальных физических знаний, развитие речевых навыков на русском языке. Задания, предлагаемые по каждой теме, можно условно разделить на две группы. Первая группа: чтение новых слов, языковые задания, чтение текстов на базе физической терминологии. Вторая группа: тестовые задания, решение задач, построение и анализ графиков – направлена на освоение и языковую актуализацию содержания курса физики, умений и навыков решения задач.

Особенность учебного пособия заключается в том, что в соответствии с методическим принципом лингвистического взросления новая лексика и грамматика вводятся дозированно, с учётом уровня владения русским языком, что обеспечивает более качественное усвоение предметного содержания курса.

РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕМЕНТЫ ВЕКТОРНОЙ АЛГЕБРЫ. ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Тема 1.1. Скаляр и вектор

1.1.1. Скаляр и вектор. Модуль вектора

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
скаля́р	длина́ *чего? (Р.п.)*
ли́ния	нача́ло *чего? (Р.п.)*
стре́лка	коне́ц *чего? (Р.п.)*
ве́ктор	име́ть *что? (В.п.)*
направле́ние *чего? (Р.п.)*	пока́зывать *что? (В.п.)*
отре́зок *чего? (Р.п.)*	ра́вен, равна́, равно́, равны́ *чему? (Д.п.)*
мо́дуль (м.р.) *чего? (Р.п.)*	

Выполните задания.

Задание 1.1.1. Составьте все возможные словосочетания.

Пример: модуль, вектор → модуль вектора

отрезок
направление
модуль
длина
начало
конец

→ прямая линия
отрезок
вектор

Задание 1.1.2. Напишите слова *равен* (м.р.), *равна* (ж.р.), *равно* (ср.р.), *равны* (мн.ч.).

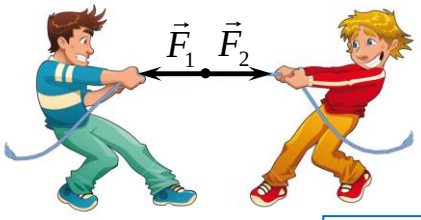
1. Число …….
2. Модуль …….
3. Длина …….
4. Модули …….

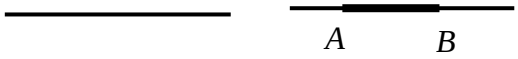
Прочитайте материал к уроку.

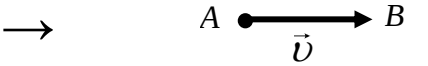
Скаля́р – это число. Скаляр может быть больше нуля ($n > 0$), меньше нуля ($n < 0$) или равен нулю ($n = 0$).

Положительное число – это число больше, чем нуль ($n > 0$). Отрицательное число – это число меньше, чем нуль ($n < 0$). Скаляры можно складывать, вычитать, умножать и делить.

Рассмотрите рисунки. Прочитайте слова.







Это **прямая линия**. Это **отрезок** *AB*. Это **стрелка**. Это **вектор** $\vec{\upsilon}$.

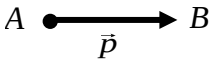
AB – отрезок прямой линии. $\overrightarrow{AB} = \vec{\upsilon}$ – это вектор. Точка *A* – это начало вектора. Точка *B* – это конец вектора.

Ве́ктор – это отрезок прямой линии, который имеет направление. Стрелка показывает направление вектора. Вектор имеет направление и модуль. **Модуль вектора – это число, которое равно длине отрезка.** Модуль вектора $|\vec{\upsilon}|$ равен длине отрезка *AB*: $|\vec{\upsilon}| = AB$. Модуль вектора может быть нуля или равен нулю ($|\vec{\upsilon}| \geq 0$). Векторы можно складывать, вычитать, умножать. Делить вектор на вектор нельзя.

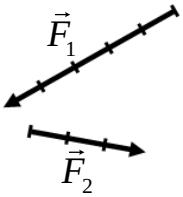
Прочитайте выражения.

$\vec{p}$ = [пэ]

Выражение: $|\overrightarrow{AB}| = |\vec{p}| = p = 1$.



Читаем: это вектор $\vec{p}$. Точка *A* – это начало вектора $\vec{p}$. Точка *B* – это конец вектора $\vec{p}$. Модуль вектора $\vec{p}$ равен длине отрезка *AB*. Модуль вектора $\vec{p}$ равен 1 (одному).



F = [эф]

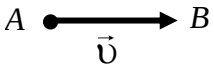
Выражение: $|\vec{F}_1| \neq |\vec{F}_2|$ или $F_1 \neq F_2$.

Читаем: это векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Модуль вектора $\vec{F}_1$ равен 5 (пяти). Модуль вектора $\vec{F}_2$ равен 3 (трём). Модуль вектора $\vec{F}_1$ не равен модулю вектора $\vec{F}_2$.

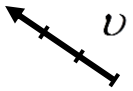
Выполните задания.

Задание 1.1.3. Ответьте на вопросы письменно.

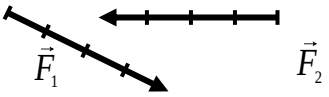
1. Что это?

2. 

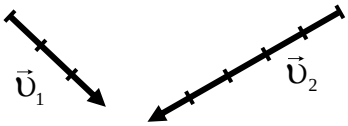
Что это?
Что такое точка *A*?
Что такое точка *B*?

3. 

Чему равен модуль вектора $\vec{\upsilon}$?

4. 

Модуль вектора $\vec{F}_1$ равен модулю вектора $\vec{F}_2$?

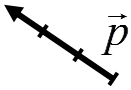
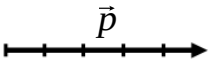
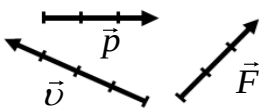
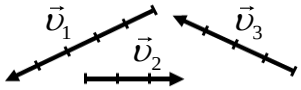
5. 

Модуль вектора $\vec{\upsilon}_1$ равен модулю вектора $\vec{\upsilon}_2$?

6.

Что это?
Что такое точка *A*?
Что такое точка *B*?

Задание 1.1.4. Прочитайте выражения.

Выражение	**Чтение выражения**	
$\vec{\upsilon}$, $\upsilon = 4$	Это вектор $\vec{\upsilon}$; модуль вектора $\vec{\upsilon}$ равен четырём.	
	Это вектор $\vec{p}$; модуль вектора $\vec{p}$ равен трём.	
1) $\vec{a}$, $\vec{\upsilon}$, $\vec{p}$.	2) $\lvert\vec{a}\rvert$, $\lvert\vec{\upsilon}\rvert$, $\lvert\vec{p}\rvert$.	3) $F = 5$.
4) $\lvert\vec{\upsilon}_1\rvert = \lvert\vec{\upsilon}_2\rvert = 2$.	5) $\lvert\vec{F}_1\rvert \neq \lvert\vec{F}_2\rvert$.	6) 
7) $p_1 = 3$, $p_2 = 5$, $\lvert\vec{p}_1\rvert \neq \lvert\vec{p}_2\rvert$.	8) $\upsilon_1 = 4$, $\upsilon_2 = 4$, $\upsilon_1 = \upsilon_2$.	9) $\vec{a}$, $\vec{\upsilon}$, $\vec{p}$, $a = \upsilon = p = 5$.
10) $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\lvert\vec{F}_2\rvert = \lvert\vec{F}_3\rvert = 3$, $\lvert\vec{F}_1\rvert = 4$ $\vec{F}_1 \neq \vec{F}_2$, $\vec{F}_1 \neq \vec{F}_3$.	11) 	12) 

Задание 1.1.5. Выберите правильный вариант ответа.

1. Что такое скаляр?
   (А) отрезок
   (Б) число
   (В) вектор
   (Г) стрелка

2. Каким может быть скаляр?
   (А) положительным
   (Б) равным нулю
   (В) отрицательным
   (Г) положительным, отрицательным, равным нулю

3. Какие математические действия можно делать со скалярами?
   (А) складывать, вычитать, умножать и делить
   (Б) складывать и вычитать
   (В) умножать и делить
   (Г) складывать, вычитать, умножать

4. Отрезок прямой линии, который имеет направление, – это …
   (А) стрелка
   (Б) вектор
   (В) модуль
   (Г) число

5. Что имеет направление и модуль?
   (А) скаляр
   (Б) число
   (В) вектор
   (Г) прямая линия

6. Каким может быть модуль вектора?
   (А) положительным или равным нулю
   (Б) равным нулю
   (В) отрицательным
   (Г) положительным

7. Что такое модуль вектора?
   (А) отрезок
   (Б) число
   (В) вектор
   (Г) стрелка

8. Какие математические действия можно делать с векторами?
   (А) складывать, вычитать, умножать и делить
   (Б) складывать и вычитать
   (В) умножать и делить
   (Г) складывать, вычитать, умножать

Задание 1.1.6. Вставьте пропущенные слова.
Слова: отрезок, больше, вектор, направление, начало, скаляры, стрелка, модуль, конец, меньше.
Пример: скаляр – это **число.**

1. Положительное число – это число ……., чем нуль.
2. Отрицательное число – это число ……., чем нуль.
3. ……. можно складывать, вычитать, умножать и делить.
4. AB – это ……. прямой линии.
5. $\overrightarrow{AB} = \vec{\upsilon}$ – это …… .
6. Точка A – это ……. вектора.
7. Точка B – это ……. вектора.
8. Вектор – это отрезок прямой линии, который имеет …… .
9. ……. показывает направление вектора.
10. Число, которое равно длине отрезка, – это …… вектора.

1.1.2. Направление векторов

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
одина́ковый (-ая; -ое; -ые)	ра́вный (-ая; -ое; -ые) по мо́дулю
ра́зный (-ая; -ое; -ые)	у́гол
противополо́жный (-ая; -ое; -ые)	гра́дус
перпендикуля́рный (-ая; -ое; -ые)	совпада́ть (НСВ)
ра́вный (-ая; -ое; -ые)	стро́ить – постро́ить

Выполните задания.

Задание 1.1.7. Составьте словосочетания. Образуйте множественное число.
(одинаковый) направление ……
(разный) направление ……
(противоположный) направление ……
(равный) вектор ……
(равный) по модулю вектор ……

Задание 1.1.8. Образуйте формы 3-го лица глаголов.

совпадать	строить
Он …….	Он …….
Они ……...	Они ……

Прочитайте и запомните.

Если + *субъект* (*И.п.*) + *прилагательное*, **то** + *субъект* (*И.п.*) + *прилагательное*.

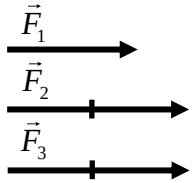
Если угол тупой, **то** угол больше, чем девяносто градусов.

Задание 1.1.9. Найдите соответствия. Составьте предложения, используя конструкцию *Если…, то …* .

1. Угол равен девяноста градусам.	А. Этот угол тупой.
2. Угол меньше, чем девяносто градусов.	Б. Этот угол прямой.
3. Угол больше, чем девяносто градусов.	В. Этот угол развёрнутый.
4. Угол равен ста восьмидесяти градусам.	Г. Этот угол острый.

Прочитайте материал к уроку.

Вектор имеет направление и модуль. Рассмотрите рисунки.



Это векторы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$.

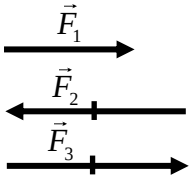
Векторы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$ имеют **одинаковые** направления = направления векторов $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$ **совпадают**.

Если векторы параллельные, имеют одинаковые направление и равны по величине, то векторы **равные.**

Вектор $\vec{F}_2$ равен вектору $\vec{F}_3$: $\vec{F}_2 = \vec{F}_3$.

Векторы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$ имеют **одинаковые** направления $\rightarrow \vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2 \uparrow\uparrow \vec{F}_3$.

Если направления векторов $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$ **одинаковые,** то угол между векторами $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$ равен нулю градусов ($\alpha = 0°$).

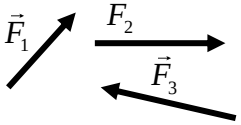


Это векторы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$.

Векторы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и векторы $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ имеют **противоположные** направления. Если векторы параллельные, имеют противоположные направления и равны по величине, то $\vec{F}_3 = -\vec{F}_2$.

Векторы имеют **противоположные** направления $\rightarrow \vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$, $\vec{F}_2 \uparrow\downarrow \vec{F}_3$.

Если направления векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ **противоположные,** то угол между векторами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ равен ста восьмидесяти градусам ($\alpha = 180°$).



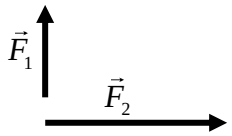
Это векторы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$.

Угол между векторами может быть острым $(0 < \alpha < 90°)$ или тупым $(90° < \alpha < 180°)$.

Между векторами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ угол острый. Между векотрами $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$, $\vec{F}_1$, и $\vec{F}_3$ углы тупые.

Прочитайте:

- $0 < \alpha < 90°$ – α больше, чем нуль градусов, но меньше, чем девяносто градусов.
- $90° < \alpha < 180°$ – α больше, чем девяносто градусов, но меньше, чем сто восемьдесят градусов.



Это векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

Векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ **перпендикулярны.**

Векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ **перпендикулярны** $\rightarrow \vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$.

Если векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ **перпендикулярны,** то угол между векторами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ равен девяноста градусам (α = 90°).

Выполните задания.

Задание 1.1.10. Прочитайте выражения.

$\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$ $\qquad$ $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$ $\qquad$ $\vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$

Задание 1.1.11. Выберите правильный вариант ответа.

1. Векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ имеют противоположные направления:
   (А) $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$
   (Б) $\vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$
   (В) $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$

2. Векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ перпендикулярны:
   (А) $\vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$
   (Б) $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$
   (В) $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$

3. Векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ имеют одинаковые направления:
   (А) $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$
   (Б) $\vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$
   (В) $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$

4. Два вектора $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ равны, если они …

   (А) $\left|\vec{F}_1\right| = \left|\vec{F}_2\right|$, $\vec{F}_1 \| \vec{F}_2$ и $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$

   (Б) $\left|\vec{F}_1\right| = \left|\vec{F}_2\right|$, $\vec{F}_1 \| \vec{F}_2$ и $\vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$

   (В) $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$

5. Два вектора $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ равны по модулю, если они …

   (А) $\left|\vec{F}_1\right| = \left|\vec{F}_2\right|$, $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$ и $\vec{F}_1 \| \vec{F}_2$

   (Б) $\left|\vec{F}_1\right| = \left|\vec{F}_2\right|$ и $\vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$

   (В) $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$

6. Если направления векторов одинаковые, то угол между векторами равен …

   (А) 180°

   (Б) 0°

   (В) 90°

   (г) $0° \le \alpha \le 360°$

7. Два вектора $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ перпендикулярны, если угол между векторами равен …

   (А) 180°

   (Б) 0°

   (В) 90°

   (г) $0° \le \alpha \le 360°$

8. Если направления векторов противоположные, то угол между векторами равен …

   (А) 180°

   (Б) 0°

   (В) 90°

   (г) $0° \le \alpha \le 360°$

Задание 1.1.12. Постройте векторы, если известны модули векторов и угол между ними.

1. $F_1 = 2$, $F_2 = 6$, $\alpha = 0°$
2. $F_1 = 7$, $F_2 = 5$, $\alpha = 180°$
3. $F_1 = 4$, $F_2 = 3$, $\alpha = 60°$
4. $F_1 = F_2 = 5$, $\alpha = 90°$
5. $F_1 = 2$, $F_2 = 5$, $\alpha = 45°$
6. $F_1 = 12$, $F_2 = 6$, $\alpha = 135°$

Тема 1.2. Вычитание векторов

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
вычита́ние ра́зность уменьша́емое вычита́емое пра́вило треуго́льник параллелогра́мм паралле́льный (-ая; -ое; -ые) диагона́ль (ж.р.)	ко́синус фо́рмула результа́т находи́ть – найти́ *что? (В.п.)* соединя́ть – соедини́ть *что? (В.п.) и что? (В.п.)* получать – получить *что? (В.п.)* изменя́ть – измени́ть перенести (СВ) *что? (В.п.)* вы́честь (СВ) *он вычел, она вычла, они вычли (прош. время)*

Выполните задания.

Задание 1.2.1. Прочитайте арифметические действия по примеру.

Пример: 7 – 5 = 2 → Семь минус пять равно два. Семь – это уменьшаемое. Пять – это вычитаемое. Два – это разность.

9 – 6 = 3	20 – 4 = 16
12 – 4 = 8	$d = c - a$
$c = a - b$	16 – 11 = 5
18 – 7 = 11	31 – 9 = 22
$a - y = x$	24 – 8 = 16

Задание 1.2.2. Найдите соответствия.

1.
2. α
3.
4. cos α

а) угол альфа
б) параллелограмм
в) треугольник
г) косинус альфа

Задание 1.2.3. Составьте все возможные словосочетания.

Пример: правило, параллелограмм → правило параллелограмма

вычитание
правило
результат
разность
диагональ

вектор
треугольник
параллелограмм
вычитание

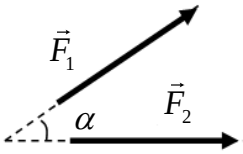
Задание 1.2.4. Напишите формы глаголов.
Пример: перенести – мы перенесём.

1. строить: мы …… .
2. построить: мы …… .
3. получать: мы …….. .
4. соединять: мы …… .
5. находить: мы …… .

Прочитайте и запомните.

Чтобы + *инфинитив* + *объект* (*В.п.*), **нужно** + *инфинитив* + *объект* (*В.п.*)
Чтобы вычесть векторы, **нужно** построить треугольник.

Прочитайте материал к уроку.



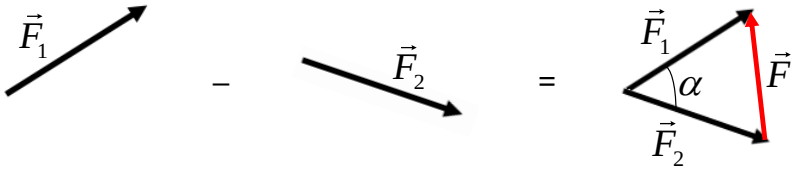
Есть два вектора $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, α – угол между векторами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Найдём разность векторов:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 \ .$$

Есть два правила вычитания векторов: правило треугольника и правило параллелограмма.

Правило треугольника

Чтобы найти разность векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ **по правилу треугольника**, нужно построить треугольник. Перенесём векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ параллельно так, чтобы начала векторов совпадали. Вектор $\vec{F}$ направлен из конца вектора $\vec{F}_2$ в конец вектора $\vec{F}_1$ (от вычитаемого вектора $\vec{F}_2$ к уменьшаемому вектору $\vec{F}_1$).

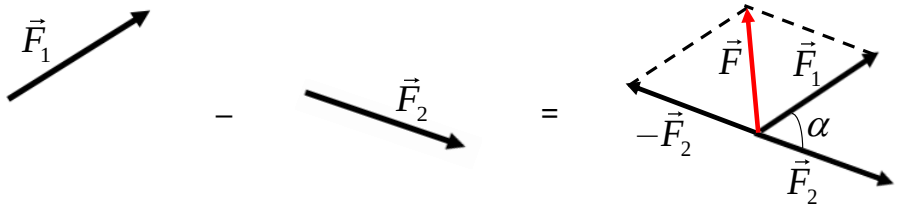


ЗАПОМНИТЕ!

Правило треугольника: чтобы найти разность векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$: $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$, нужно построить треугольник. Перенесём векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ параллельно так, чтобы начала векторов совпадали. Вектор $\vec{F}$ направлен из конца вектора $\vec{F}_2$ в конец вектора $\vec{F}_1$.

Правило параллелограмма

Чтобы найти разность векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ **по правилу параллелограмма**, нужно построить параллелограмм. Перенесём векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ параллельно так, чтобы начала векторов совпадали. Построим вектор $-\vec{F}_2$. Построим параллелограмм на векторах $\vec{F}_1$ и $-\vec{F}_2$. Диагональ параллелограмма – это вектор $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$.



ЗАПОМНИТЕ!

Правило параллелограмма: чтобы найти разность векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$: $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$, нужно построить параллелограмм. Перенесём векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ параллельно так, чтобы начала векторов совпадали. Построим вектор $-\vec{F}_2$. На векторах $\vec{F}_1$ и $-\vec{F}_2$ построим параллелограмм. Диагональ параллелограмма – это вектор $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$.

Модуль вектора $\vec{F}$ можно найти по формуле:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cdot \cos\alpha}.$$

Читаем формулу: модуль вектора $\vec{F}$ равен корню квадратному из F_1 в квадрате, плюс F_2 в квадрате, минус два F_1, F_2, косинус альфа.

В формуле F_1 – модуль вектора $\vec{F}_1$, F_2 – модуль вектора $\vec{F}_2$, α – угол между векторами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

Пример 1. Определите направление вектора $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$. Найдите модуль вектора $\vec{F}$, если $F_1 = 5$, $F_2 = 3$, $\alpha = 0°$.

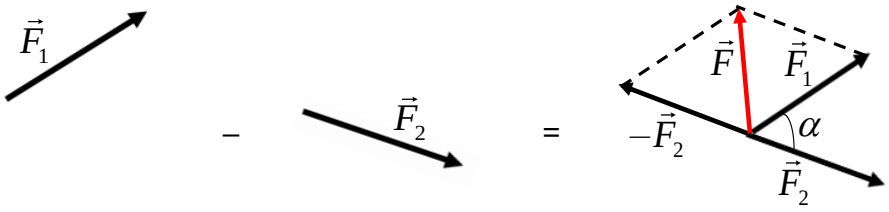
$F_1 = 5$, $F_2 = 3$ $\alpha = 0°$	Чтобы найти разность векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, перенесём векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ параллельно так, чтобы начала векторов совпадали. Вектор $\vec{F}$ направлен из конца вектора $\vec{F}_2$ в конец вектора $\vec{F}_1$.
$\vec{F}$, F – ?	$\vec{F}_1$ – $\vec{F}_2$ = $\vec{F}_1$ $\vec{F}_2$ $\vec{F}$

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos 0°} = \sqrt{5^2 + 3^2 - 2 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 1} = \sqrt{25 + 9 - 30} = \sqrt{4} = 2.$$

Ответ: $F = 2$.

Пример 2. Определите направление вектора $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$ по правилу параллелограмма. Найдите модуль вектора $\vec{F}$, если $F_1 = 4$, $F_2 = 4$, $\alpha = 60°$.

$F_1 = 4$, $F_2 = 4$ $\alpha = 60°$	Чтобы найти разность векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ по правилу параллелограмма, нужно построить параллелограмм. Перенесём векторы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ параллельно так, чтобы начала векторов совпадали. Построим вектор $-\vec{F}_2$. Построим параллелограмм на векторах $\vec{F}_1$ и $-\vec{F}_2$. Диагональ параллелограмма – это вектор $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$.
$\vec{F}$, F – ?	



$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos 60°} = \sqrt{4^2 + 4^2 - 2\cdot 4\cdot 4\cdot 1/2} = \sqrt{16+16-16} = \sqrt{16} = 4.$$

Ответ: $F = 4$.

ЗАПОМНИТЕ!

Результат вычитания векторов – это вектор.

Выполните задания.

Задание 1.2.5. Вставьте пропущенные слова.

Слова: треугольника, вычесть, вычитаемое, разность, противоположные, уменьшаемое, параллелограмм.

1. Если есть модули векторов F_1, F_2 и угол α между векторами, то можно ……. из вектора $\vec{F}_1$ вектор $\vec{F}_2$ и найти разность векторов.

2. Вектор $\vec{F}_2$ и вектор $(-\vec{F}_2)$ – это …… векторы.

3. Чтобы вычесть из вектора $\vec{F}_1$ вектор $\vec{F}_2$ по правилу ……., нужно соединить начала векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

4. Чтобы построить ……, нужно построить линии, параллельные векторам $\vec{F}_1$ и $-\vec{F}_2$.

5. В формуле $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$: $\vec{F}$ – это ……. , $\vec{F}_1$ – это ……., $\vec{F}_2$ – это …… .

Задание 1.2.6. Определите направление и модуль вектора $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$.

1. Найдите разность векторов по правилу треугольника:
   1) $F_1 = 4$, $F_2 = 8$, $\alpha = 45°$
   2) $F_1 = 10$, $F_2 = 5$, $\alpha = 30°$
   3) $F_1 = 5$, $F_2 = 2$, $\alpha = 120°$
   4) $F_1 = 4$, $F_2 = 8$, $\alpha = 180°$
   5) $F_1 = 2$, $F_2 = 5$, $\alpha = 0°$
   6) $F_1 = 2$, $F_2 = 6$, $\alpha = 90°$

2. Найдите разность векторов по правилу параллелограмма:
   1) $F_1 = 1$, $F_2 = 3$, $\alpha = 90°$
   2) $F_1 = 6$, $F_2 = 4$, $\alpha = 30°$
   3) $F_1 = 5$, $F_2 = 8$, $\alpha = 120°$
   4) $F_1 = 2$, $F_2 = 5$, $\alpha = 60°$
   5) $F_1 = 8$, $F_2 = 6$, $\alpha = 45°$
   6) $F_1 = 9$, $F_2 = 5$, $\alpha = 30°$

Тема 1.3. Сложение векторов

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
сложе́ние	ко́синус
сложи́ть	фо́рмула
пра́вило	результа́т
треуго́льник	находи́ть – найти́ *что? (В.п.)*
параллелогра́мм	соедини́ть – соедини́ть *что? (В.п.)* и *что? (В.п.)*
су́мма	получать – получить *что? (В.п.)*
диагона́ль (ж.р.)	

Выполните задания.

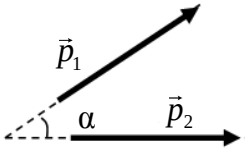
Задание 1.3.1. Составьте все возможные словосочетания.

Пример: правило, параллелограмм → правило параллелограмма

сложение
правило
результат
сумма
диагональ

вектор
треугольник
параллелограмм
сложение

Прочитайте материал к уроку.

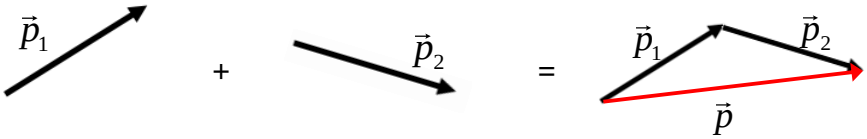


Есть два вектора $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$, α – угол между векторами $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$. Найдите сумму векторов: $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.

Есть два правила сложения векторов: правило треугольника и правило параллелограмма.

Правило треугольника

Чтобы сложить векторы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ **по правилу треугольника**, нужно посторить треугольник. Перенесём вектор $\vec{p}_2$ параллельно к концу вектора $\vec{p}_1$. Вектор $\vec{p}$ направлен из начала вектора $\vec{p}_1$ в конец вектора $\vec{p}_2$.

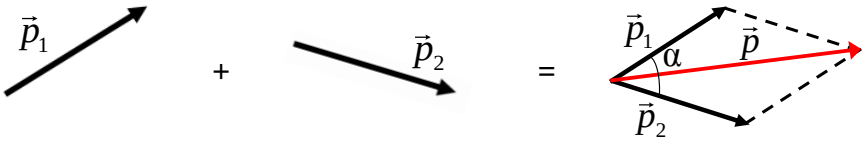


ЗАПОМНИТЕ!

Правило треугольника: чтобы сложить векторы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ по правилу треугольника, перенесём вектор $\vec{p}_2$ параллельно к концу вектора $\vec{p}_1$. Вектор $\vec{p}$ направлен из начала вектора $\vec{p}_1$ в конец вектора $\vec{p}_2$.

Правило параллелограмма

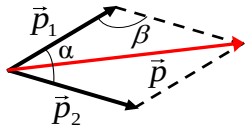
Чтобы сложить векторы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ **по правилу параллелограмма**, нужно построить параллелограмм. Построим параллелограмм на векторах $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$. Диагональ параллелограмма – это вектор $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.



ЗАПОМНИТЕ!

Правило параллелограмма: чтобы сложить векторы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ по правилу параллелограмма, нужно построить параллелограмм на векторах $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$. Диагональ параллелограмма – это вектор $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.

Мы сложили два вектора по правилу треугольника и по правилу параллелограмма. Модуль вектора $\vec{p}$ равен:



$$p = \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} - 2p_1p_2 \cdot \cos\beta}\,,$$

$$\alpha = 180° - \beta\,,$$

$$\cos\beta = -\cos\alpha\,,$$

$$p = \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} - 2p_1p_2 \cdot (-\cos\alpha)} = \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + 2p_1p_2 \cdot \cos\alpha}\,.$$

$$\boxed{p = \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + 2p_1p_2 \cdot \cos\alpha}\,.}$$

Читаем формулу: модуль вектора $\vec{p}$ равен корню квадратному из p_1 в квадрате, плюс p_2 в квадрате, плюс два, p_1, p_2, косинус альфа.

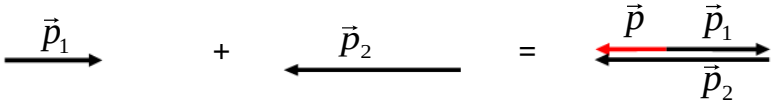
В формуле p_1 – модуль вектора $\vec{p}_1$, p_2 – модуль вектора $\vec{p}_2$, α – угол между векторами $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$.

Пример 1. Определите направление вектора $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ по правилу треугольника. Найдите модуль вектора $\vec{p}$, если $p_1 = 3$, $p_2 = 5$, $\alpha = 180°$.

$p_1 = 3$,
$p_2 = 5$,
$\alpha = 180°$

$p - ?$

Чтобы сложить векторы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ по правилу треугольника, перенесём вектор $\vec{p}_2$ параллельно к концу вектора $\vec{p}_1$. Вектор $\vec{p}$ направлен из начала вектора $\vec{p}_1$ в конец вектора $\vec{p}_2$.



$$p = \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + 2p_1p_2 \cdot \cos\alpha} = \sqrt{3^2 + 5^2 + 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (-1)} = \sqrt{9 + 25 - 30} = \sqrt{4} = 2.$$

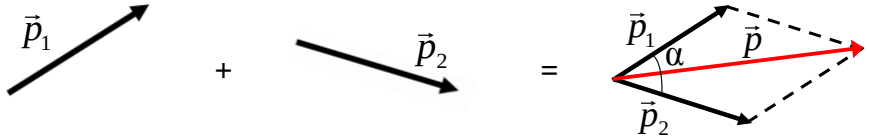
Ответ: $p = 2$.

Пример 2. Определите направление вектора $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ по правилу параллелограмма. Найдите модуль вектора $\vec{p}$, если $p_1 = 3$, $p_2 = 5$, $\alpha = 60°$.

$p_1 = 4$,
$p_2 = 4$,
$\alpha = 60°$

$p - ?$

Чтобы сложить векторы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ по правилу параллелограмма, нужно построить параллелограмм на векторах $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$. Диагональ параллелограмма – это вектор $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.



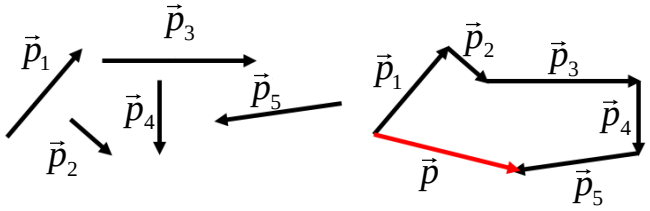
$$p = \sqrt{p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + 2p_1p_2 \cdot \cos\alpha} = \sqrt{4^2 + 4^2 + 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 1/2} = \sqrt{16 + 16 + 16} = \sqrt{48} = 6{,}9.$$

Ответ: $p = 6{,}9$.

Сложение нескольких векторов

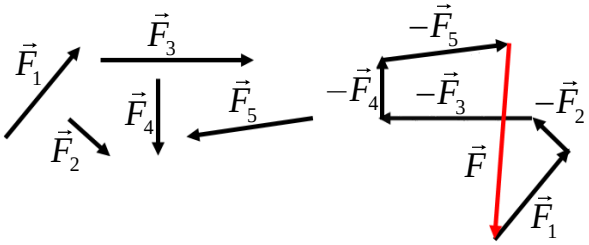
Чтобы сложить несколько векторов, нужно параллельно перенести конец одного вектора к началу следующего вектора. Вектор, который соединяет начало первого вектора и конец последнего, – это вектор суммы векторов.

Пример 3. Найдите вектор $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 + \vec{p}_5$.



Пример 4. Найдите вектор $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 - \vec{F}_3 - \vec{F}_4 - \vec{F}_5$.

Выражение $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 - \vec{F}_3 - \vec{F}_4 - \vec{F}_5$ запишем, как $\vec{F} = \vec{F}_1 + (-\vec{F}_2) + (-\vec{F}_3) + (-\vec{F}_4) + (-\vec{F}_5)$. Тогда нужно изменить направление векторов $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ и $\vec{F}_5$ на противоположное направление $-\vec{F}_2$, $-\vec{F}_3$, $-\vec{F}_4$, и $-\vec{F}_5$, потом соединить конец вектора $\vec{F}_1$ с началом вектора $-\vec{F}_2$, затем – конец вектора $-\vec{F}_2$ с началом вектора $-\vec{F}_3$ и так далее. Вектор, который соединяет начало первого вектора и конец последнего, – это вектор $\vec{F}$.



ЗАПОМНИТЕ!

Результат сложения векторов – это вектор.

Выполните задания.

Задание 1.3.2. Вставьте пропущенные слова.

Слова: правила, диагональ, начало, сумма, конец.

1. Есть два …… сложения векторов: правило треугольника и правило параллелограмма.

2. Чтобы сложить векторы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ по правилу треугольника, нужно параллельно перенести …….. вектора $\vec{p}_1$ к …… вектора $\vec{p}_2$.

3. Вектор $\vec{p}$ – это …… векторов $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$.

4. …… параллелограмма – это вектор $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.

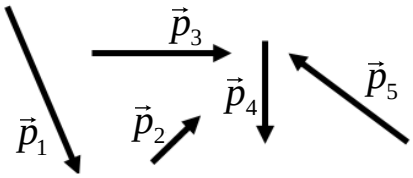
Задание 1.3.3. Найдите сумму векторов $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$. Найдите модуль суммы векторов $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$.

1. По правилу треугольника:
   1) $p_1 = 4$, $p_2 = 3$, $\alpha = 90°$
   2) $p_1 = 3$, $p_2 = 5$, $\alpha = 30°$
   3) $p_1 = 2$, $p_2 = 2$, $\alpha = 120°$
   4) $p_1 = 4$, $p_2 = 8$, $\alpha = 180°$
   5) $p_1 = 2$, $p_2 = 5$, $\alpha = 45°$
   6) $p_1 = 2$, $p_2 = 6$, $\alpha = 0°$

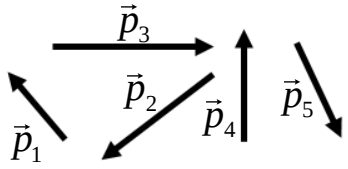
2. По правилу параллелограмма:
   1) $p_1 = 4$; $p_2 = 8$; $\alpha = 90°$
   2) $p_1 = 3$; $p_2 = 4$; $\alpha = 30°$
   3) $p_1 = 5$, $p_2 = 5$, $\alpha = 120°$
   4) $p_1 = 2$, $p_2 = 7$, $\alpha = 60°$
   5) $p_1 = 8$, $p_2 = 3$, $\alpha = 45°$
   6) $p_1 = 9$, $p_2 = 5$, $\alpha = 30°$

Задание 1.3.4. Найдите вектор $\vec{p}$:

1) $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 + \vec{p}_5$.

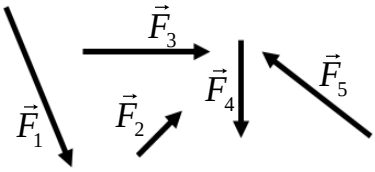


2) $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 + \vec{p}_5$.

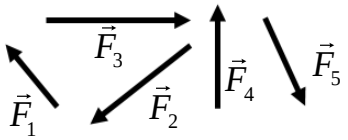


Задание 1.3.5. Найдите вектор $\vec{F}$:

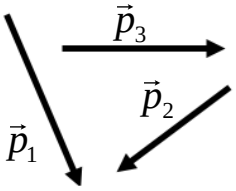
1) $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 - \vec{F}_3 - \vec{F}_4 - \vec{F}_5$



2) $\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 - \vec{F}_3 - \vec{F}_4 - \vec{F}_5$



Задание 1.3.6. Постройте векторы, равные:



1) $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3$
2) $\vec{p} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2 + \vec{p}_3$
3) $\vec{p} = -\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3$
4) $\vec{p} = -\vec{p}_1 - \vec{p}_2 - \vec{p}_3$

Тема 1.4. Умножение векторов

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
умноже́ние умно́жить произведе́ние скаля́рный (-ая; -ое; -ые)	ве́кторный (-ая; -ое; -ые) скаля́рное произведе́ние ве́кторов ве́кторное произведе́ние ве́кторов

Выполните задания.

Задание 1.4.1. Составьте словосочетания. Образуйте множественное число.

1. (скалярный) произведение ……
2. (векторный) произведение ……
3. (результат) произведение ……

Задание 1.4.2. Составьте словосочетания по модели.

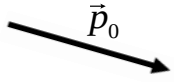
Умножение *чего (Р.п.)* **на** *что (В.п.)* **Умножение** вектора **на** число**.**

Пример (модель): умножение (вектор, число) → умножение вектора на число

1. умножение (число, число) ……
2. умножение (вектор, число) ……...
3. умножение (вектор, вектор) ……

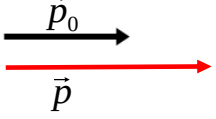
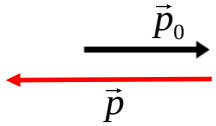
Прочитайте материал к уроку.

Умножение вектора на число



Есть вектор $\vec{p}_0$ и число k. Найдём произведение: $\vec{p} = k \cdot \vec{p}_0$.

Рассмотрите примеры.

	$\vec{p} = k \cdot \vec{p}_0$, $k > 0$, $\lvert p \rvert = \lvert k \cdot p_0 \rvert$, $\vec{p} \uparrow\uparrow \vec{p}_0$	Вектор $\vec{p}$ в k раз отличается от вектора $\vec{p}_0$ и одинаково направлен с вектором $\vec{p}_0$.
	$\vec{p} = k \cdot \vec{p}_0$, $k < 0$, $\lvert p \rvert = \lvert k \cdot p_0 \rvert$, $\vec{p} \uparrow\downarrow \vec{p}_0$	Вектор $\vec{p}$ в k раз отличается от вектора $\vec{p}_0$ и противоположно направлен с вектором $\vec{p}_0$.

Скалярное произведение векторов

Результат скалярного произведения векторов – это скаляр. Скаляр можно найти по формуле:

$$p = (\vec{p}_1 \vec{p}_2);$$
$$p = p_1 p_2 \cdot \cos\alpha,$$

где α – угол между векторами $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$.

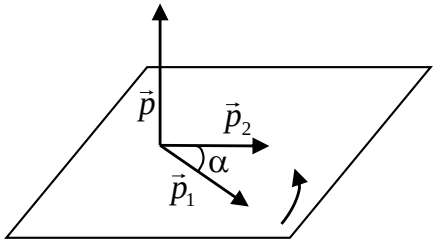
Результатом скалярного произведения векторов может быть число положительное, отрицательное или равное нулю.

Векторное произведение векторов

Результат векторного произведения векторов – это вектор: $\vec{p} = [\vec{p}_1 \vec{p}_2]$. Модуль вектора можно найти по формуле:

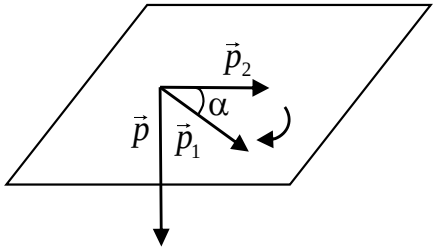
$$p = p_1 p_2 \cdot \sin\alpha,$$

где α – угол между векторами $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$.



$\vec{p} = [\vec{p}_1 \vec{p}_2]$

Вектор $\vec{p}$ перпендикулярен векторам $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ ($\vec{p} \perp \vec{p}_1$ и $\vec{p} \perp \vec{p}_2$).



$\vec{p} = [\vec{p}_2 \vec{p}_1]$

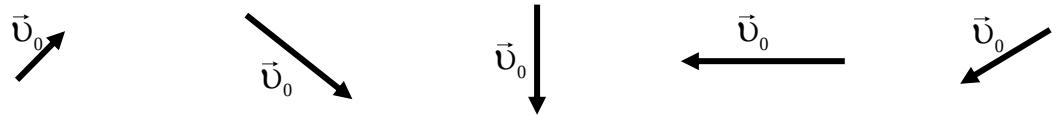
ЗАПОМНИТЕ!

Результат произведения вектора на число – это вектор.
Результат скалярного произведения векторов – это скаляр.
Результат векторного произведения векторов – это вектор.

Выполните задания по теме.

Задание 1.4.3. Умножьте вектор $\vec{\upsilon}_0$ на число k: $\vec{\upsilon} = k \cdot \vec{\upsilon}_0$. Найдите направление и модуль вектора $\vec{\upsilon}$. Постройте вектор $\vec{\upsilon}$.

1. $\upsilon_0 = 3$, $k = 2$
2. $\upsilon_0 = 1$, $k = -4$
3. $\upsilon_0 = 10$, $k = 0{,}5$
4. $\upsilon_0 = 6$, $k = -1$
5. $\upsilon_0 = 2$, $k = 3$



Задание 1.4.4. Найдите скалярное произведение векторов $p = (\vec{p}_1 \vec{p}_2)$.

1. $p_1 = 2$, $p_2 = 2$, $\alpha = 30°$
2. $p_1 = 4$, $p_2 = 3$, $\alpha = 45°$
3. $p_1 = 5$, $p_2 = 10$, $\alpha = 90°$
4. $p_1 = 8$, $p_2 = 5$, $\alpha = 60°$
5. $p_1 = 100$, $p_2 = 1$, $\alpha = 180°$

Задание 1.4.5. Найдите векторное произведение векторов $\vec{p} = [\vec{p}_1 \vec{p}_2]$.

1. $p_1 = 2$, $p_2 = 2$, $\alpha = 30°$
2. $p_1 = 9$; $p_2 = 5$; $\alpha = 45°$
3. $p_1 = 5$; $p_2 = 10$; $\alpha = 90°$
4. $p_1 = 8$, $p_2 = 5$, $\alpha = 60°$
5. $p_1 = 100$, $p_2 = 1$, $\alpha = 180°$

Тема 1.5. Система координат

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
систе́ма	простра́нство, простра́нственный
координа́та	одноме́рный (-ая; -ое; -ые)
ось (ж.р.) *чего? (Р.п.)*	двуме́рный (-ая; -ое; -ые)
абсци́сса	трёхме́рный (-ая; -ое; -ые)
ордина́та	определя́ть
аппликáта	определя́ться *чем? (Т.п.)*
пло́скость, пло́ский	положе́ние *чего? (Р.п.)*

Выполните задания.

Задание 1.5.1. Составьте словосочетания. Используйте второе существительное в форме родительного падежа множественного числа.

1) ось, абсцисса → …
2) ось, ордината → …

3) ось, аппликата → …
4) система, координата → …
5) начало, координата → …

Прочитайте и запомните.

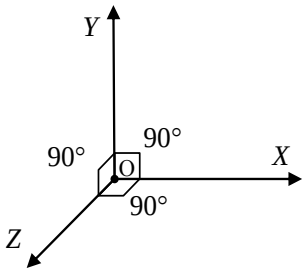
Что (*И.п.*) *где* (*П.п.*) **определяется** *чем* (*Т.п.*)
Положение точки в одномерной системе координат **определяется** координатой *x*.

Выполните задания.

Задание 1.5.2. Составьте из слов предложения.

1. Положение, точка, ось, абсцисс, определяться, координата *x*.
2. Положение, точка, ось, ординат, определяться, координата *y*.
3. Положение, точка, ось, аппликат, определяться, координата *z*.

Прочитайте материал к уроку.



Рассмотрим рисунок. Это трёхмерная система координат. Точка *O* – это начало координат. Система координат имеет три оси: ось *OX*, ось *OY* и ось *OZ*.

OX, *OY*, *OZ* – это оси координат.

Ось *OX* – это ось абсцисс.

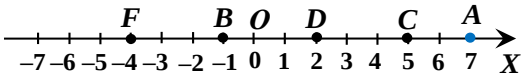
Ось *OY* – это ось ординат.

Ось *OZ* – это ось аппликат. Оси перпендикулярны друг другу (*OX* ⊥ *OY* ⊥ *OZ*).

Угол между осью *OX* и осью *OY* равен 90°. Угол между осью *OY* и осью *OZ* равен 90°. Угол между осью *OX* и осью *OZ* равен 90°. Угол 90° – это прямой угол. Система координат *XOYZ* – это прямоугольная система координат. Положение точки на осях *OX*, *OY* и *OZ* определяется **координатами** *x*, *y*, *z*.

Рассмотрите примеры.

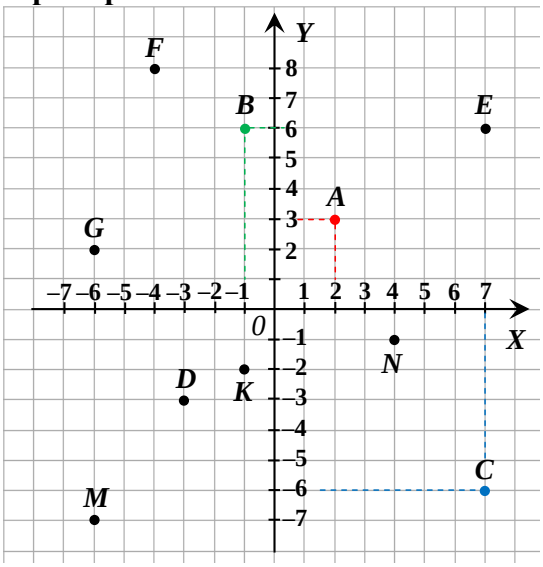
Пример 1



На рисунке дана одномерная система координат *OX*. Координата точки *A* равна $x = 7$. Найдите координаты точек *B*, *C*, *D*, *F* на оси *OX*.

B: $x = \ldots$.
C: $x = \ldots$.
D: $x = \ldots$.
F: $x = \ldots$.

Пример 2



На рисунке дана двумерная система координат *XOY* и точки *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *K*, *M*, *N*.

Координата точки *A*(2;3): $x = 2$, $y = 3$.

Координата точки *B*(–1,6): $x = -1$, $y = 6$.

Координата точки *C*(7;–6): $x = 7$, $y = -6$.

Чему равны координаты точек *D*, *E*, *F*, *G*, *K*, *M* и *N*?

D(…; …), $x = \ldots$, $y = \ldots$.

E(…; …), $x = \ldots$, $y = \ldots$.

F(…; …), $x = \ldots$, $y = \ldots$.

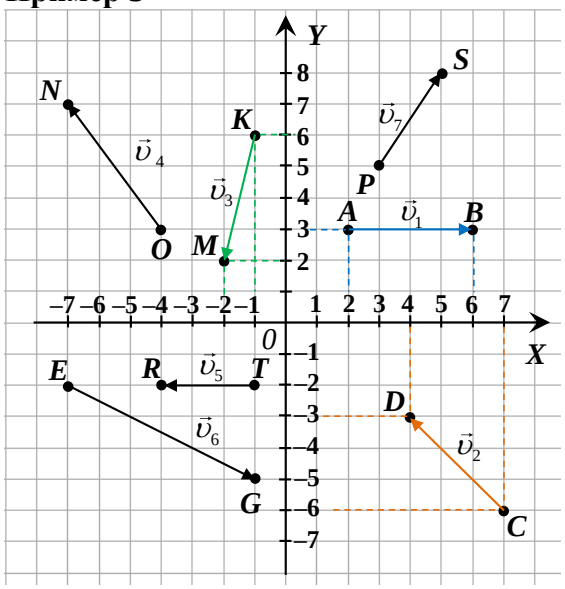
G(…; …), $x = \ldots$, $y = \ldots$.

K(…; …), $x = \ldots$, $y = \ldots$.

M(…; …), $x = \ldots$, $y = \ldots$.

N(…; …), $x = \ldots$, $y = \ldots$.

Пример 3



Вектор $\vec{\upsilon}_1$ в двумерной системе координат определяется положением точки ***A*** (**начало** вектора $\vec{\upsilon}_1$) и точки ***B*** (**конец** вектора $\vec{\upsilon}_1$). Найдите координаты начала и конца векторов.

Вектор $\vec{\upsilon}_1$: *A*(2;3), *B*(6;3).

Вектор $\vec{\upsilon}_2$: *C*(7;–6), *D*(4;–3).

Вектор $\vec{\upsilon}_3$: *K*(–1;6), *M*(–2;2).

Чему равны координаты начала и конца векторов $\vec{\upsilon}_4$, $\vec{\upsilon}_5$, $\vec{\upsilon}_6$, $\vec{\upsilon}_7$?

Вектор $\vec{\upsilon}_4$: *O*(…;…), *N*(…;…).

Вектор $\vec{\upsilon}_5$: *T*(…;…), *R*(…;…).

Вектор $\vec{\upsilon}_6$: *E*(…;…), *G*(…;…).

Вектор $\vec{\upsilon}_7$: *P*(…;…), *S*(…;…).

Выполните задания.

Задание 1.5.3. Прочитайте и скажите, верны ли утверждения.

1. Положение точки на линии, плоскости и в пространстве определяется координатами.

(А) Да

(Б) Нет

2. Ось *OX* – это ось ординат.

(А) Да

(Б) Нет

3. Система координат всегда состоит только из трёх осей: *OX*, *OY*, *OZ*.
(А) Да
(Б) Нет

4. *OX*, *OY*, *OZ* – это координаты.
(А) Да
(Б) Нет

5. Точка *O* – это начало координат.
(А) Да
(Б) Нет

6. Положение точки *A* определяется только тремя координатами.
(А) Да
(Б) Нет

7. Система координат *XOYZ* – это трёхмерная система координат.
(А) Да
(Б) Нет

8. В трёхмерной системе координаты точки записываются так: *M* (*x*; *y*).
(А) Да
(Б) Нет

Задание 1.5.4. В системе координат *XOY* постройте точки:

1. *A*(–5;–2)
2. *B*(3;–5)
3. *C*(1;–3)
4. *D*(4;6)
5. *E*(–3;2)
6. *F*(–1;–4)
7. *G*(2;5)
8. *K*(–5;2)
9. *M*(–2;3)
10. *L*(4;–4)
11. *N*(0;5)
12. *R*(–4;0)

Задание 1.5.5. Постройте векторы, если известны координаты начала *A* и конца *B* векторов.

1. Вектор $\vec{F}_1$: $A_1(7;3)$, $B_1(-1;4)$
2. Вектор $\vec{F}_2$: $A_2(-3;7)$, $B_2(7;-3)$
3. Вектор $\vec{F}_3$: $A_3(1;-4{,}5)$, $B_3(-2;0)$
4. Вектор $\vec{F}_4$: $A_4(-1;-2)$, $B_4(0;-5)$
5. Вектор $\vec{p}_1$: $A_5(1;1)$, $B_5(5;5)$
6. Вектор $\vec{p}_2$: $A_6(-1;4)$, $B_6(0;5{,}5)$
7. Вектор $\vec{p}_3$: $A_7(0;5)$, $B_7(0;0)$
8. Вектор $\vec{p}_4$: $A_8(-4;-2{,}5)$, $B_8(-4;2{,}5)$

Задание 1.5.6. Постройте систему координат *XOY*. Постройте и последовательно соедините точки, которые имеют координаты:

1. (5;0), (–5;12), (–7;8), (–3;1), (–9;3), (–5;–6), (–2;–3), (2;–4), (6;–3), (8;–1), (9;2), (12;3), (11;3), (10;4), (9;4), (5;2), (3;4), (3;7), (0;9), (–3;14), (–3;9).
2. (10;3).

Задание 1.5.7. Постройте систему координат *XOY*. Постройте и последовательно соедините точки, которые имеют координаты:
(1;2), (3;4), (7;5), (9;4), (14;0), (20;–6), (10;0), (9;–2), (9;–4), (6;–4), (7;–3), (7;–2), (2;–2), (2;–4), (–1;–4), (0;–3), (0;0), (–5;4), (–7;4), (–8;5), (–6;7), (–5;7), (1;2).

Задание 1.5.8. Постройте систему координат *XOY*. Постройте и последовательно соедините точки, которые имеют координаты:

1. (2;–3), (2;–2), (4;–2), (4;–1), (3;1), (2;1), (1;2), (0;0), (–3;2), (–4;5), (0;8), (2;7), (6;7), (8;8), (10;6), (10;2), (7;0), (6;2), (6;–2), (5;–3), (2;–3).
2. (4;–3), (4;–5), (3;–9), (0;–8), (1;–5), (1;–4), (0;–4), (0;–9), (–3;–9), (–3;–3), (–7;–3), (–7;–7), (–8;–7), (–8;–8), (–11;–8), (–10;–4), (–11;–1), (–14;–3), (–12;–1), (–11;2), (–8;4), (–4;5).
3. (2;4), (6;4).

Задание 1.5.9. Постройте систему координат *XOY*. Постройте и последовательно соедините точки, которые имеют координаты:

1. (–4;0), (–5;1), (–6;1), (–7;2), (–7;3), (–6;4), (–6;5), (–5;6), (–4;7), (–1;7), (0;5), (4;2), (6;2), (8;1), (10; –1), (10;0), (11;0), (11;–2), (10;–2), (7;–6), (2;–6), (1;–5), (2;–4), (3;–4), (4;–5), (5;–5), (5;–4), (4;–3), (3;–3), (2;–2), (0;–3), (–1;–5), (–3;–6), (–6;–6),
   (–7;–5), (–6;–4), (–5;–4), (–4;–5), (–3;–3), (–4;0).
2. (–4;7), (–4;6), (–5;4), (–5;3), (–4;1), (–1;1), (0;3), (0;4), (–1;6), (–1;7).
3. (–5;4).

Задание 1.5.10. Постройте систему координат *XOY*. Постройте и последовательно соедините точки, которые имеют координаты:

1. (–6;1), (–6;2), (–3;5), (3;7), (1;5), (2;4), (4;3), (5;2), (6;2), (8;4), (8;–1), (6;0), (0;–3), (2;–6), (–2;–3), (–4;–2), (–5;–1), (–6;1), (–4;1);
2. (–3;5), (–2;2), (–2;0), (–4;–2);
3. (–3;3).

Тема 1.6. Проекции вектора на оси координат

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
проéкция *чего? (Р.п.) на что? (В.п.)*	опусти́ть (СВ) *что? (В.п.) на что? (В.п.)*

построить *что?* проекцию опустить *что?* перпендикуляр (*или* перпендикулярные линии)

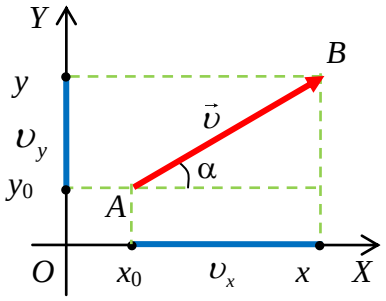
Выполните задания.

Задание 1.6.1. Составьте словосочетания. В позициях 4–8 используйте существительные в форме родительного падежа множественного числа.

1) проекция, вектор → …
2) проекция, начало, вектор → …
3) проекция, конец, вектор → …

4) разность, координата → …
5) сумма, проекция → …
6) проекции, вектор → …
7) разность, координата, проекция → …
8) сумма, проекция, вектор → …

Прочитайте материал к уроку.



Есть вектор $\vec{\upsilon}$ и система координат *XOY*, α – угол между вектором $\vec{\upsilon}$ и осью *OX*. Найдите **проекцию** вектора $\vec{\upsilon}$ на оси координат *OX* и *OY*.

Точка $A(x_0, y_0)$ – это начало вектора $\vec{\upsilon}$. Точка $B(x, y)$ – это конец вектора $\vec{\upsilon}$. Опустим перпендикуляр из точек *A* и *B* на оси *OX* и *OY*.

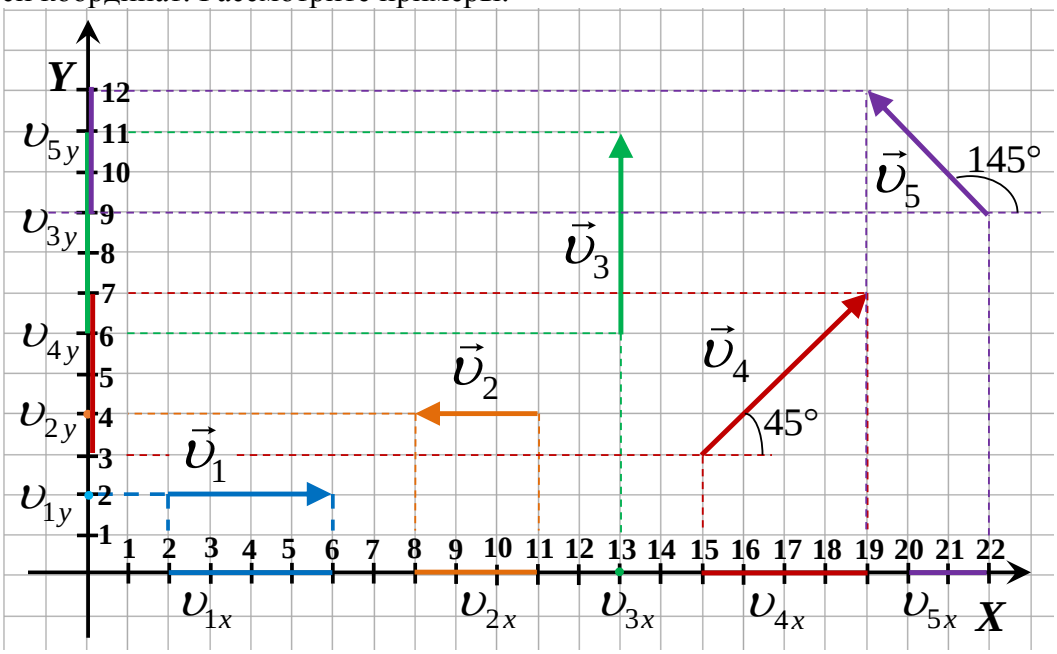
υ_x – это проекция вектора $\vec{\upsilon}$ на ось *OX*. Проекцию υ_x можно найти по формулам:

$$\upsilon_x = x - x_0 \text{ и } \upsilon_x = \upsilon \cdot \cos\alpha .$$

υ_y – это проекция вектора $\vec{\upsilon}$ на ось *OY*. Проекцию υ_y можно найти по формулам:

$$\upsilon_y = y - y_0 \text{ и } \upsilon_y = \upsilon \cdot \sin\alpha .$$

Проекция вектора на ось – это скаляр. Проекция вектора равна разности координат проекций конца и начала вектора на ось *OX* или *OY*: $\upsilon_x = x - x_0$ или $\upsilon_y = y - y_0$. Проекция может быть положительной, отрицательной или равной нулю. Чтобы найти проекцию, нужно опустить перпендикуляры из начала и конца вектора на оси координат. Рассмотрите примеры.



Вектор	Проекция вектора на ось *OX*	Проекция вектора на ось *OY*	Модуль вектора
$\vec{\upsilon}_1$	$\upsilon_{1x} = x - x_0 =$ $= 6 - 2 = 4$ $\upsilon_{1x} = \upsilon_1 \cdot \cos\alpha =$ $= 4 \cdot \cos 0° = 4$	$\upsilon_{1y} = y - y_0 =$ $= 2 - 2 = 0$ $\upsilon_{1y} = \upsilon_1 \cdot \sin\alpha =$ $= 4 \cdot \sin 0° = 0$	$\upsilon_1 = \sqrt{\upsilon_{1x}^2 + \upsilon_{1y}^2} =$ $= \sqrt{4^2 + 0^2} = 4$
$\vec{\upsilon}_2$	$\upsilon_{2x} = x - x_0 =$ $= 8 - 11 = -3$ $\upsilon_{2x} = \upsilon_2 \cdot \cos\alpha =$ $= 3 \cdot \cos 180° = -3$	$\upsilon_{2y} = y - y_0 =$ $= 4 - 4 = 0$ $\upsilon_{2y} = \upsilon_2 \cdot \sin\alpha =$ $= 3 \cdot \sin 180° = 0$	$\upsilon_2 = \sqrt{\upsilon_{2x}^2 + \upsilon_{2y}^2} =$ $= \sqrt{(-3)^2 + 0^2} = 3$
$\vec{\upsilon}_3$	$\upsilon_{3x} = x - x_0 =$ $= 13 - 13 = 0$ $\upsilon_{3x} = \upsilon_3 \cdot \cos\alpha =$ $= 5 \cdot \cos 90° = 0$	$\upsilon_{3y} = y - y_0 =$ $= 11 - 6 = 5$ $\upsilon_{3y} = \upsilon_3 \cdot \sin\alpha =$ $= 5 \cdot \sin 90° = 5$	$\upsilon_3 = \sqrt{\upsilon_{3x}^2 + \upsilon_{3y}^2} =$ $= \sqrt{0^2 + 5^2} = 5$
$\vec{\upsilon}_4$	$\upsilon_{4x} = x - x_0 =$ $= 19 - 15 = 4$ $\upsilon_{4x} = \upsilon_4 \cdot \cos\alpha =$ $= 4\sqrt{2} \cdot \cos 45° = 4$	$\upsilon_{4y} = y - y_0 =$ $= 7 - 3 = 4$ $\upsilon_{4y} = \upsilon_4 \cdot \sin\alpha =$ $= 4\sqrt{2} \cdot \sin 45° = 4$	$\upsilon_4 = \sqrt{\upsilon_{4x}^2 + \upsilon_{4y}^2} =$ $= \sqrt{4^2 + 4^2} = 4\sqrt{2}$
$\vec{\upsilon}_5$	$\upsilon_{5x} = x - x_0 =$ $= 19 - 22 = -3$ $\upsilon_{5x} = \upsilon_5 \cos\alpha =$ $= 3\sqrt{2} \cdot \cos 145° = -3$	$\upsilon_{5y} = y - y_0 =$ $= 12 - 9 = 3$ $\upsilon_{5y} = \upsilon_5 \cdot \sin\alpha =$ $= 3\sqrt{2} \cdot \sin 145° = 3$	$\upsilon_5 = \sqrt{\upsilon_{5x}^2 + \upsilon_{5y}^2} =$ $= \sqrt{(-3)^2 + 3^2} = 3\sqrt{2}$

ЗАПОМНИТЕ!

Проекция вектора – это скаляр.
Проекция вектора может быть положительной, отрицательной или равной нулю.
Проекция вектора не имеет направления.

Выполните задания по теме.

Задание 1.6.2. Вставьте пропущенные слова.

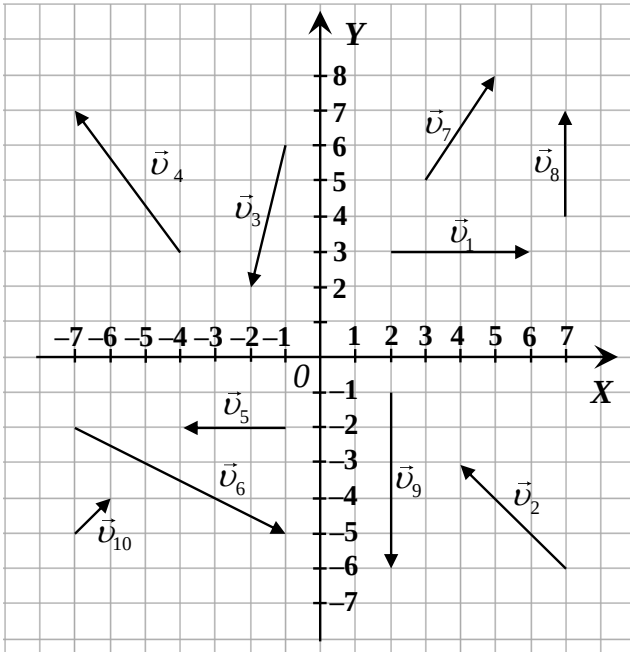
Слова: ось *OX*, опустить, разности, скаляр, ось *OY*, проекция, вектор.

1. Чтобы найти проекцию, нужно …… перпендикуляры из начала и конца вектора на оси координат.
2. Проекция вектора – это …… .
3. …… может быть положительной, отрицательной или равной 0.
4. Проекция вектора равна …… координат проекций конца и начала вектора на ось.

5. Проекция вектора на …… равна: $\upsilon_x = \upsilon \cdot \cos\alpha$ или $\upsilon_x = x - x_0$.

6. Проекция вектора на …… равна: $\upsilon_y = \upsilon \cdot \sin\alpha$ или $\upsilon_y = y - y_0$.

Задание 1.6.3. Найдите проекции векторов $\vec{\upsilon}_1$, $\vec{\upsilon}_2$, $\vec{\upsilon}_3$, $\vec{\upsilon}_4$, $\vec{\upsilon}_5$, $\vec{\upsilon}_6$, $\vec{\upsilon}_7$, $\vec{\upsilon}_8$, $\vec{\upsilon}_9$, $\vec{\upsilon}_{10}$ на координатные оси *OX* и *OY*.



Задание 1.6.4. Найдите проекции векторов на оси координат, если известен угол между вектором и осью *OX*.

1. $F_1 = 20$, $\alpha = 30°$
2. $F_3 = 6$, $\alpha = 45°$
3. $F_5 = 10$, $\alpha = 180°$
4. $F_2 = 4$, $\alpha = 120°$
5. $F_4 = 5$, $\alpha = 90°$
6. $F_6 = 9$, $\alpha = 0°$

Задание 1.6.5. Постройте векторы. Найдите проекции векторов на оси координат, если известны координаты начала *A* и конца *B* векторов.

1. $\vec{p}_1$: $A_1(1;5)$, $B_1(7;4)$
2. $\vec{p}_2$: $A_2(6;2)$, $B_2(3;3)$
3. $\vec{p}_3$: $A_3(4;–5)$, $B_3(7;–1)$
4. $\vec{p}_4$: $A_4(–6;–2)$, $B_4(–3;–4)$

Тема 1.7. Разложение вектора на составляющие

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
раскла́дывать – разложи́ть *что? (В.п.) на что? (В.п.)*	составля́ющая *чего? (Р.п.)*
разложе́ние *чего? (Р.п.) на что? (В.п.)*	спо́соб
предста́вить (СВ) *что? (В.п.) как что? (В.п.)*	да́нный (-ая; -ое; -ые)
представле́ние *чего? (Р.п.) чем? (Т.п.)*	дан

Выполните задания.

Задание 1.7.1. Составьте из слов предложения. Если нужно, используйте предлоги.

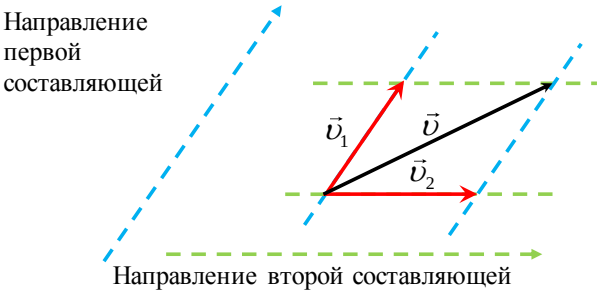
1. Можно, разложить, вектор, составляющие.
2. Можно, представить, вектор $\vec{\upsilon}$, сумма, векторы $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$.
3. Разложение, вектор, составляющие, это, представление, вектор, сумма, два вектора.
4. Векторы $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$, это, составляющие, вектор $\vec{\upsilon}$.

Прочитайте материал к уроку.

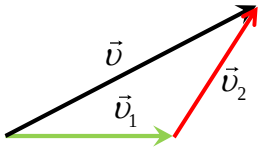
Любой вектор можно представить как сумму двух векторов. Например, вектор $\vec{\upsilon}$ можно представить как сумму векторов $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$. Представление вектора суммой двух векторов – это **разложение вектора на составляющие**. Векторы $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ – это составляющие вектора $\vec{\upsilon}$. Разложить вектор на составляющие можно тремя способами:

1. **Даны направления составляющих.**

Даны вектор $\vec{\upsilon}$ и направления составляющих. Найдите составляющие вектора $\vec{\upsilon}$. Чтобы разложить вектор $\vec{\upsilon}$ на составляющие, проведём через начало и конец вектора $\vec{\upsilon}$ прямые, параллельные составляющим. По правилу параллелограмма находим составляющие вектора $\vec{\upsilon}$ – это векторы $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$. Вектор $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2$.

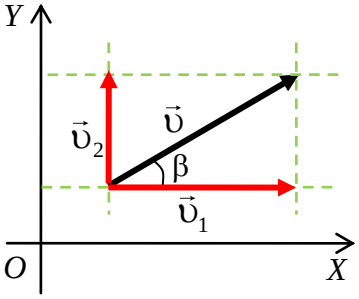


2. **Дана одна составляющая.**



Даны вектор $\vec{\upsilon}$ и одна составляющая, например, вектор $\vec{\upsilon}_1$. Найдите вторую составляющую вектора $\vec{\upsilon}$. Из правила треугольника $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2$ найдём вектор $\vec{\upsilon}_2$.

3. **Даны оси координат *OX* и *OY*.**



Даны вектор $\vec{\upsilon}$ и система координат *XOY*. Найдите составляющие вектора $\vec{\upsilon}$ на оси координат.

Чтобы разложить вектор $\vec{\upsilon}$ на составляющие, нужно через начало и конец вектора построить линии, параллельные осям *OX* и *OY*. Построим векторы $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$.

Составляющие вектора – это векторы. Если знаем модуль вектора $\vec{\upsilon}$ и угол β между вектором $\vec{\upsilon}$ и осью *OX*, то можно найти модули векторов $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ по формулам: $\upsilon_1 = \upsilon \cdot \cos\beta$, $\upsilon_2 = \upsilon \cdot \sin\beta$.

ЗАПОМНИТЕ!

Составляющие вектора – это векторы.

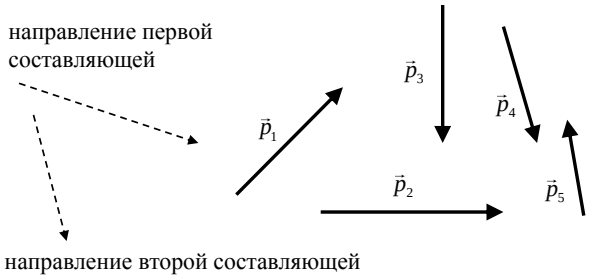
Выполните задания.

Задание 1.7.2. Вставьте пропущенные слова.

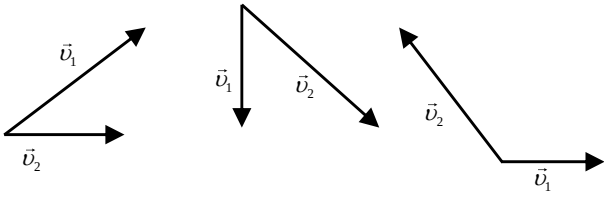
Слова: направления, составляющие, разложение, осям, составляющая.

1. Представление вектора $\vec{\upsilon}$ в виде суммы двух векторов – это …… вектора на составляющие.
2. Разложить вектор $\vec{\upsilon}$ на составляющие можно, если даны …..…… составляющих.
3. Разложить вектор $\vec{\upsilon}$ на составляющие можно, если известна одна ……, например, вектор $\vec{\upsilon}_1$.
4. Разложить вектор $\vec{\upsilon}$ на составляющие, которые лежат в одной плоскости, можно по …… координат.
5. Векторы $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ – это ……... вектора $\vec{\upsilon}$.

Задание 1.7.3. Разложите векторы на составляющие, если даны направления составляющих.



Задание 1.7.4. Разложите вектор $\vec{\upsilon}_1$ на составляющие, если дана одна составляющая – вектор $\vec{\upsilon}_2$.



Задание 1.7.5. Постройте векторы. Разложите векторы на составляющие по осям координат *OX* и *OY*.

1. $\vec{p}_1$: *A*(2, 5), *B*(6, 4)
2. $\vec{p}_2$: *C*(4, 2), *D*(4, 3)
3. $\vec{p}_3$: *F*(4, –6), *K*(6, –3)
4. $\vec{p}_4$: *N*(–8, –2), *M*(–2, –5)

Задание 1.7.6. Ответьте на вопросы.

1. Что такое скаляр? Что такое вектор?
2. Какие математические действия можно делать с векторами?
3. Какие математические действия можно делать со скалярами?
4. Результат сложения векторов – это вектор или скаляр?
5. Результат вычитания векторов – это вектор или скаляр?
6. Результат умножения вектора на число – это вектор или скаляр?
7. Результат скалярного умножения векторов – это вектор или скаляр?
8. Результат векторного умножения векторов – это вектор или скаляр?
9. Проекция вектора на ось координат – это вектор или скаляр?
10. Результат разложения вектора на составляющие – это векторы или скаляры?

Тема 1.8. Что изучает физика?

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
фи́зика, физи́ческий	вещество́
приро́да, приро́дный	маши́на = автомоби́ль (м.р.)
те́ло	кипе́ть (НСВ)
проце́сс	существова́ть (НСВ)
явле́ние	дви́гаться (НСВ)
мате́рия, материа́льный	изменя́ться (НСВ)
предме́т	изуча́ть (НСВ) *что? (В.п.)*
по́ле	называ́ться (НВС) *чем? (Т.п.)*

Выполните задания.

Задание 1.8.1. Составьте словосочетания. Образуйте множественное число.

1) (физический) тело …
2) (физический) процесс …
3) (физический) явление …
4) (природный) явление …

Задание 1.8.2. Образуйте формы 3-го лица глаголов.

Двигаться	существовать	изучать
Он дви**ж**ется Они дви**ж**утся	Он …… Они ……	Он …… Они ……
кипеть (2 группа)	изменяться	называться
Он …… Они ……	Он …… Они ……	Он …… Они ……

Задание 1.8.3. Прочитайте слова.

Глаголы	**Отглагольные существительные**
двигаться	движ**ение** *чего? (Р.п.)*
изменяться	измен**ение** *чего? (Р.п.)*
кипеть	кип**ение** *чего? (Р.п.)*
существовать	существова**ние** *чего? (Р.п.)*

Прочитайте и запомните.

Субъект (*И.п.*) + *глагол* + …

Отглагольное существительное + *существительное* (*Р.п.*) + …

Тело движется

Движение тела

Задание 1.8.4. Составьте словосочетания по примеру.

Пример: Тел**о** движется. → движение тел**а**

1) материя существует. → …
2) материя изменяется. → …
3) форма изменяется. → …
4) вода кипит. → …
5) автомобиль движется. → …

Прочитайте и запомните.

Что (И.п.) – **это** *что (И.п.)*
Физика – **это** наука о природе.

Что (И.п.) **называется** *чем (Т.п.)*
Наук**а** о природе **называется** физик**ой.**

Задание 1.8.5. Прочитайте определения, подчеркните термины. Измените предложения, используйте конструкцию *что (И.п.)* – **это** *что (И.п.).*

1. Всё вокруг нас называется материей.
2. Все изменения материи называются природными явлениями.
3. Изменение формы тела и положения тела называется физическим процессом.
4. Любое изменение в природе называется физическим явлением.
5. Все предметы в природе называются физическими телами.

Задание 1.8.6. Прочитайте текст и ответьте на вопросы письменно.

Что изучает физика.

Всё вокруг нас называется материей. Материя существует в форме вещества и поля. Материя движется и изменяется. Все изменения материи называются природными явлениями. Воздух, вода, Земля, люди, растения, животные, планеты, Солнце, звёзды – это природа. Человек живёт в мире природы.

Физика – это наука о природе. Физика изучает физические тела, физические процессы и физические явления. Все предметы в природе – это физические тела. Например, человек, автомобиль, стол, книга – это физические тела. Изменение формы тела и положения тела называется физическим процессом. Например, движение автомобиля, кипение воды – это физические процессы. Любое изменение в природе называется физическим явлением. Например, движение Земли, дождь – это физические явления.

Вопросы

1. Что называется материей? В каких формах существует материя?
2. Что называется физикой?
3. Какие физические тела представлены в тексте?
4. Какие физические явления представлены в тексте?
5. Какие физические процессы представлены в тексте?
6. Какие физические процессы и физические явления Вы знаете?

Задание 1.8.7. Выберите правильный вариант ответа.

1. Человек, автомобиль, стол, вода, Солнце – это …
   (А) физические тела
   (Б) физические явления
   (В) физические процессы.

2. Физика – это наука о …
   (А) планетах
   (Б) природе
   (В) животных

3. Дождь, снег, свет Солнца – это …
   (А) физические тела
   (Б) физические явления
   (В) физические процессы

4. Изменение формы тела и положение тела называется …
   (А) физическим телом
   (Б) физическим явлением
   (В) физическим процессом

5. В каких формах существует материя?
   (А) Вещества и тела
   (Б) Поля и явления
   (В) Поля и вещества

Задание 1.8.8. Вставьте пропущенные слова.

Слова: изменяется, тела, процессы, природе, материи, явления.

1. Физика – это наука о …… .
2. Вещество и поле – это формы …… .
3. Материя движется и …… .
4. Вода, человек, воздух, планеты – это физические …… .

5. Дождь, движение Земли – это физические …… .
6. Таяние льда, движение автомобиля – это физические …… .

Задание 1.8.9. Найдите соответствие.

1. Стол, автомобиль, человек, планеты	а) Физический процесс
2. Снег идёт, Солнце светит	б) Физическое тело
3. Автомобиль движется, лёд тает	в) Физическое явление

1. _____ 2. _____ 3. _____

Тема 1.9. Физическое тело

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
то́чка	теле́жка
материа́льная то́чка	ло́дка
ма́сса	плане́та
объём	самоле́т
разме́р	Со́лнце
ко́смос	Земля́
доро́га	находи́ться (НСВ)
челове́к	учи́тывать (НСВ)
	пренебрега́ть – пренебре́чь

Прочитайте и запомните.

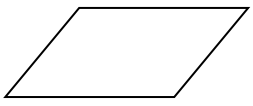
пренебречь = не учитывать
пренебречь *чем?* размерами тела
не учитывать *что?* размеры тела

Прочитайте материал к уроку.

Физическое тело – это материальный предмет, который имеет массу, объём и форму. Физические тела могут иметь простую геометрическую форму и сложную геометрическую форму.

Физические тела простой геометрической формы:

куб



плоскость

Земля

Солнце

Физические тела сложной геометрической формы:

человек

автомобиль (машина)

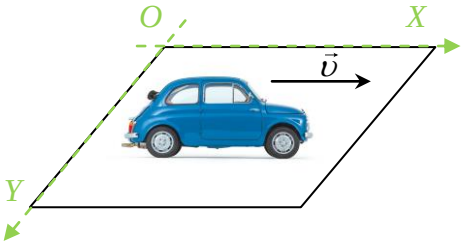
тележка

лодка

самолёт

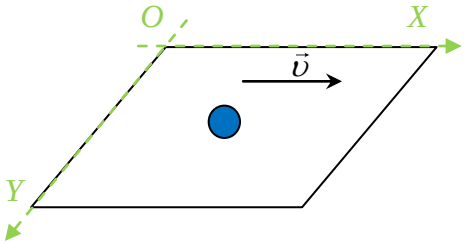
поезд

Автомобиль – это физическое тело. Если не учитывать форму и размер автомобиля, то автомобиль можно представить как **материальную точку. Материальная точка – это физическое тело, размерами и формой которого можно пренебречь в условиях данной задачи. Материальная точка имеет только массу.** Рассмотрите рисунки.



Автомобиль движется по плоскости.

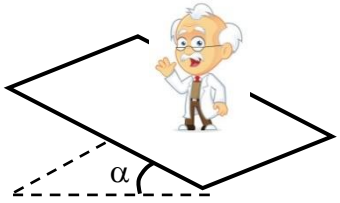
Или



Материальная точка движется по плоскости.

Чтобы определить положение физического тела, нужно указать, где физическое тело **находится.** Чтобы определить, где находится тело, необходимо использовать предлоги: **на, по, в, вокруг.** Рассмотрите примеры.

Это тележка.
Тележка – физическое тело.
Тележка находится **на** плоскости.
Тележка находится **на** горизонтальной плоскости.



Это человек.
Человек – физическое тело.
Человек находится **на** плоскости.
Человек находится **на** наклонной плоскости.

Это машина (автомобиль).
Машина – физическое тело.
Машина движется **по** дороге.

Это лодка.
Лодка – физическое тело.
Лодка плывёт **по** реке.

Это поезд.
Поезд – физическое тело.
Поезд движется **по** дороге.

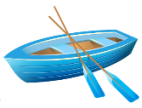
Это самолёт.
Самолёт – физическое тело.
Самолёт летит **в** небе.

Это Солнце и Земля.
Солнце и Земля – физические тела.
Земля движется **вокруг** Солнца.

Это Солнце и планеты.
Солнце и планеты – физические тела.
Планеты движутся **вокруг** Солнца.
Планеты и Солнце движутся **в** космосе.
Планеты и Солнце движутся **в** космическом пространстве.

Выполните задания.

Задание 1.9.1. Найдите соответствия.

1.
2. 
3.
4.
5.
6.

а) Солнце	б) автомобиль	в) самолёт
г) лодка	д) Земля	е) тележка

Задание 1.9.2. Напишите в тетрадь слова, которые обозначают физические тела. Карандаш, понедельник, вода, камень, урок, тетрадь, ветер, ноябрь, стол, Солнце, Земля, лето, планета, мяч, январь, радуга, книга, самолёт, стул, тележка, поезд, зима, утро, машина.

Задание 1.9.3. Закончите предложения.

1. Земля движется вокруг ...
2. Планеты движутся вокруг ...
3. Автомобиль движется …
4. Самолёт летит …
5. Человек, машина, лодка, самолёт, дерево – это ...
6. Материальная точка – это физическое тело, ...
7. Физическое тело – это …

Задание 1.9.4. Назовите физические тела, которые изображены на рисунках.

Тема 1.10. Физические явления

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
физи́ческое явле́ние	горе́ть (НСВ)
хими́ческое явле́ние	свети́ть (НСВ)
механи́ческий (-ая; -ое; -ие)	звони́ть (НСВ)
тепловóй (-ая; -ое; -ые)	растворя́ться (НСВ) *в чём? (П.п.)*
световóй (-ая; -ое; -ые)	изменя́ться (НСВ)
звуковóй (-ая; -ое; -ые)	нагрева́ться (НСВ)
электри́ческий (-ая; -ое; -ие)	охлажда́ться (НСВ)
магни́тный (-ая; -ое; -ые)	распространя́ться (НСВ)
свóйство	притя́гиваться (НСВ)
агрега́тное состоя́ние вещества́	отта́лкиваться (НСВ)
	превраща́ться (НСВ) *во что? (В.п.)*

Выполните задания.

Задание 1.10.1. Образуйте формы 3-го лица глаголов.

гореть (2 группа) Он …… Они ……	светить Он …… Они ……	звонить Он …… Они ……
растворяться Он …… Они ……	нагреваться Он …… Они ……	охлаждаться Он …… Они ……
распространяться Он …… Они ……	притягиваться Он …… Они ……	отталкиваться Он …… Они ……
	превращаться Он …… Они ……	

Задание 1.10.2. Прочитайте слова.

Глаголы	**Отглагольные существительные**
светить	свет *чего? (Р.п.)*
звонить	звонок *чего? (Р.п.)*
гореть	гор**ение** *чего? (Р.п.)*
растворяться	раствор**ение** *чего? (Р.п.) в чём? (П.п.)*
изменяться	измен**ение** *чего? (Р.п.)*
охлаждаться	охлажд**ение** *чего? (Р.п.)*
распространяться	распростран**ение** *чего? (Р.п.)*
притягиваться	притяж**ение** *чего? (Р.п.)*
превращаться	превращ**ение** *чего? (Р.п.) во что? (В.п.)*
нагреваться	нагрева**ние** *чего? (Р.п.)*
отталкиваться	отталкива**ние** *чего? (Р.п.)*
являться	явлен**ие** *чего? (Р.п.)*

Задание 1.10.3. Составьте словосочетания по примеру.

Пример: Тел**о** движется → движение тела.

1. Солнце светит. → …
2. Телефон звонит. → …
3. Свет распространяется. → …
4. Сахар растворяется. → …
5. Форма изменяется. → …
6. Земля движется. → …
7. Температура изменяется. → …
8. Вода нагревается. → …
9. Звук распространяется. → …
10. Тела притягиваются. → …
11. Магниты отталкиваются. → …
12. Газ горит. → …
13. Лампочка светит. → …
14. Пар превращается в воду. → …

Прочитайте материал к уроку.

Изменения в природе – это явления. Движение Земли, движение человека, кипение воды, горение бумаги, растворение сахара в воде – это явления. Явления могут быть физическими и химическими.

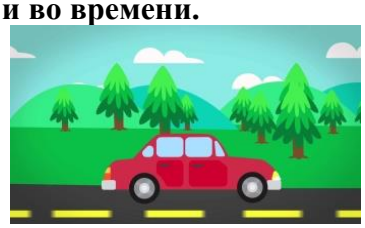
Химические явления – это явления, при которых образуются новые вещества. Например, горение природного газа.

Физические явления – это явления, при которых изменяются свойства веществ, но вещества не превращаются в другие вещества. Например, вода кипит и превращается в пар. Пар охлаждается и превращается в воду. Изменение свойств веществ – это изменение агрегатного состояния вещества (твёрдое, жидкое, газообразное), изменение положения тела, изменение формы тела, изменение объёма тела, изменение температуры и другие.

Физические явления делятся на механические, тепловые, световые, звуковые, электрические и магнитные явления.

Рассмотрите примеры.

1. Механическое явление – это изменение положения тела в пространстве и во времени.



Машина движется, машина изменяет своё положение в пространстве и во времени.
Движение машины – это механическое явление.

Земля движется вокруг Солнца. Земля изменяет своё положение в космическом пространстве и во времени.
Движение Земли вокруг Солнца – это механическое явление.

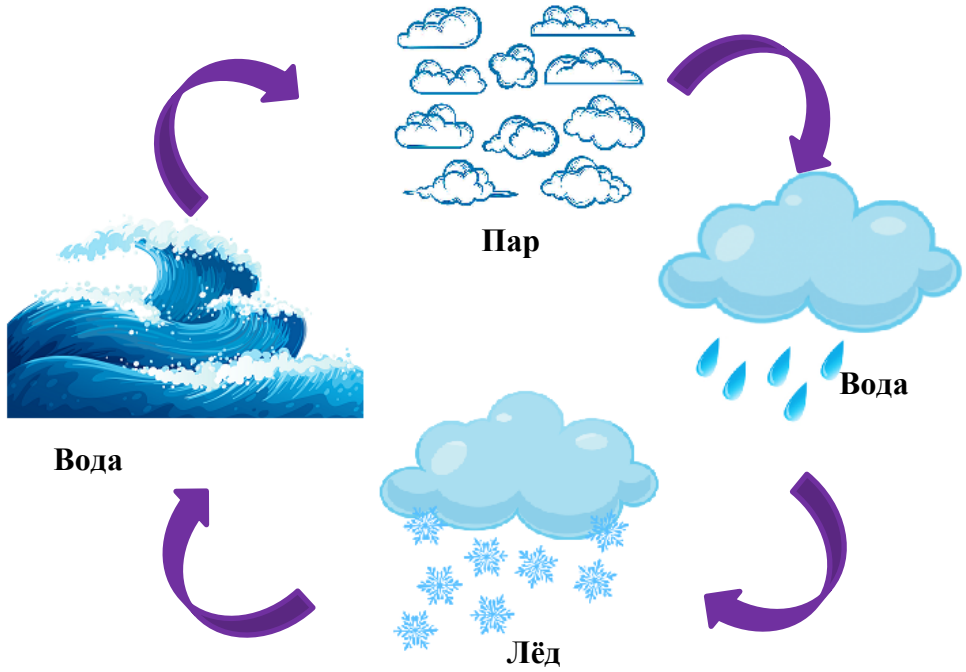
2. Световое явление – это явление распространения света.

Свет Солнца – это световое явление.

3. Звуковое явление – это явление распространения звука.

Звонок телефона – это звуковое явление.

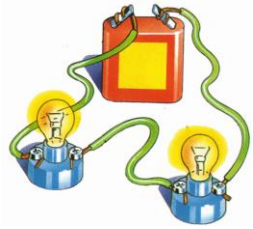
4. Тепловое явление – это явление поглощения или выделения тепла при изменении агрегатного состояния вещества (или тела).



Вода нагревается и превращается в пар.
Пар охлаждается и превращается в воду.
Вода охлаждается и превращается в лёд.
Лёд нагревается и превращается в воду.

} Это изменение агрегатного состояния вещества.

5. Электрическое явление – это явление движения и взаимодействия электрических зарядов.



Свет лампочки – это электрическое явление.

Молния – это электрическое явление.

6. Магнитное явление – явление притяжения и отталкивания, например, магнитов.

Выполните задания.

Задание 1.10.4. Найдите соответствия. Поставьте напротив каждого физического явления соответствующие примеры.

Физические явления	Примеры
1. Механические	А. Свет Солнца, свет лампочки, радуга
2. Звуковые	Б. Молния, притяжение магнитов.
3. Тепловые	В. Звонок телефона, музыка
4. Электромагнитные	Г. Движение Земли вокруг Солнца, движение машины.
5. Световые	Д. Нагревание воды, плавление льда.

Задание 1.10.5. Напишите физические явления, которые представлены на рисунках.

Задание 1.10.6. Поставьте вместо точек глаголы в нужной форме. О каком физическом явлении говорится в предложениях?

Слова: охлаждаться, кипеть, нагреваться, охлаждаться.

1. Вода …… и превращается в пар.
2. Лёд …….. и превращается в воду.
3. Вода …… и превращается в лёд.
4. Пар ……... и превращается в воду.

Задание 1.10.7. Выберите правильный вариант ответа.

1. Явление, при котором изменяются свойства веществ, но вещества не превращаются в другие вещества, называется …
   (А) физическим процессом
   (Б) физическим явлением
   (В) химическим явлением
   (Г) движением тел

2. Изменение положения тела в пространстве и во времени называется …
   (А) механическим явлением
   (Б) звуковым явлением
   (В) тепловым явлением
   (Г) электромагнитным явлением

3. Какие из физических явлений наблюдаются при горении бумаги?
   (А) тепловые
   (Б) механические
   (В) тепловые и световые
   (Г) тепловые и механические

4. Выберите пример физического явления?
   (А) машина
   (Б) вода
   (В) кипение
   (Г) температура

5. В каком случае говорится о нагревании?
   (А) птица летит по небу
   (Б) повышается температура воды
   (В) вода замерзает и превращается в лёд
   (Г) человек слушает музыку

6. В каком случае говорится об охлаждении?
   (А) горит свеча
   (Б) вода замерзает и превращается в лёд
   (В) лодка плывет по холодной реке
   (Г) вода кипит и превращается в пар

Тема 1.11. Физические величины

1.11.1. Физические величины и их единицы измерения

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
физи́ческая величина́	основно́й (-ая; -ое; -ые)
измеря́ть – изме́рить *что? (В.п.)*	дополни́тельный (-ая; -ое; -ые)
едини́ца измере́ния	Междунаро́дная систе́ма едини́ц

Выполните задания.

Задание 1.11.1. Найдите соответствия (физическая величина – обозначение).

1) объём	а) l
2) температура	б) T
3) масса	в) m
4) путь	г) V
5) скорость	д) υ
6) длина	е) t
7) время	ж) S
8) сила	з) F

Прочитайте и запомните.

Что (*В.п.*) **обозначают** *чем* (*Т.п.*)
Температуру **обозначают** буквой *Т*.

Задание 1.11.2. Со словами из задания 1.11.1 составьте предложения, используйте конструкцию *Что обозначают чем.*

1. ……..
2. ……..
3. ……..
4. ……..
5. ……..
6. ……..
7. ……..
8. ……..

Прочитайте материал к уроку.

Каждое физическое тело или физическое явление имеет свои свойства. Для обозначения свойств физических тел и физических явлений используют определённые характеристики.

Физические величины количественно описывают свойства физических тел, физических явлений. Одна и та же физическая величина может быть использована для характеристики разных тел или явлений. Например, масса, путь, время, скорость, длина, сила, объём, температура. Физические величины обозначают обычно буквой латинского или греческого алфавита. Длина – *L*, масса – *m, M,* объём – *V*, температура – *T*, путь – *S*, скорость – υ , время – *t*, сила – *F*.

Физические величины имеют **единицу измерения.** Например, метр – это единица измерения длины (*l*), Ньютон – это единица измерения силы (*F*). Единицы измерения обозначают буквами русского алфавита.

ЗАПОМНИТЕ!

***l* = 1 метр**

Физическая величина — **Единица измерения**

Основные единицы измерения – это единицы измерения, которые входят в Международную систему единиц СИ (*System International*).

Международная система единиц СИ

Основная физическая величина	**Основная единица измерения**	**Обозначение единицы измерения**
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Количество вещества	моль	моль
Температура	Кельвин	К
Сила тока	Ампер	А
Сила света	Кандела	кд

Внесистемные единицы измерения – это единицы измерения, которые не входят в Международную систему единиц СИ. Рассмотрите примеры.

Физическая величина	Обозначение физической величины	Основная единица измерения	Внесистемные единицы измерения	Примеры
Длина	*L*	1 м	км дм см мм мкм нм	1 м = 0,001 км = 10^{-3} км; 1 м = 10 дм; 1 м = 100 см = 10^2 см; 1 м = 1000 мм = 10^3 мм; 1 м = 10^6 мкм; 1 м = 10^9 нм
Масса	*M, m*	1 кг	г мг т	1 кг = 1000 г = 10^3 г; 1 кг = 1000000 мг = 10^6 мг; 1 кг = 0,001 т = 10^{-3} т
Время	*t*	1 с	мин ч	1 с = 0,017 мин; 1 с = 0,00028 ч

Приставки для образования десятичных единиц представлены в приложении в табл. 2.

Выполните задания.

Задание 1.11.3. Отметьте слова, которые обозначают физические величины.

	Движение		Время		Скорость
	Объём		Скаляр		Вектор
	Направление		Сила		Давление
	Температура		Масса		Ускорение
	Длина		Охлаждение		Измерение
	Явление		Плотность		Нагревание

Задание 1.11.4. Вставьте пропущенные числа:

1. Единицы измерения длины (L).

350 мм	=	_____	см	3000 км	=	_____	м
1050 мм	=	_____	см	60348 м	=	_____	км
87 мм	=	_____	дм	36000 дм	=	_____	км
215 мм	=	_____	дм	0,0036 км	=	_____	м
2836 мм	=	_____	м	0,0054 км	=	_____	м

2. Единицы измерения времени (t).

2,5 ч	=	_____	с	4320 мин	=	_____	сут
3 ч	=	_____	с	600 с	=	_____	мин
0,25 ч	=	_____	мин	30 с	=	_____	ч
30 ч	=	_____	мин	15 мин	=	_____	с
2 сут	=	_____	ч	420 мин	=	_____	ч

3. Единицы измерения массы (m, M).

12 т	=	_____	кг	63 кг	=	_____	т
0,5 т	=	_____	кг	0,02 т	=	_____	г
0,009 кг	=	_____	г	25 г	=	_____	мг
500 мг	=	_____	г	45000 кг	=	_____	т
3500 кг	=	_____	г	20 г	=	_____	мг

4. Единицы измерения скорости (υ).

10 м/с	=	_____	км/ч	30 км/ч	=	_____	км/с
60 м/с	=	_____	км/ч	5 м/с	=	_____	км/мин
0,36 км/ч	=	_____	м/с	0,06 км/мин	=	_____	км/ч

Задание 1.11.5. Ответьте на вопросы.

1) Назовите основные единицы системы СИ.
2) Единица измерения времени 1 ч является основной единицей системы СИ?
3) Сколько метров в одном километре?
4) Сколько килограммов в одном грамме?

1.11.2. Экспериментальное измерение физических величин

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
о́пыт = экспери́мент	весы́
проводи́ть – провести́ *что? (В.п.)*	термо́метр
прибо́р	динамо́метр
инструме́нт	шкала́
лине́йка	деле́ние
руле́тка	цена́ деле́ния прибо́ра
мензу́рка	определя́ть – определи́ть *что? (В.п.)*
часы́	ука́зывать – указа́ть *что? (В.п.)*
секундоме́р	показа́ние прибо́ра
	этало́н

Прочитайте и запомните.

Что (*В.п.*) **измеряют/ можно измерить** *чем* (*Т.п.*) Длину **измеряют/ можно измерить** линейкой.

Что (*И.п.*) – **это прибор для измерения** *чего* (*Р.п.*) Весы – **это прибор для измерения** массы.

Выполните задания.

Задание 1.11.6. Найдите соответствия (физическая величина – инструмент или прибор для измерения). Составьте с данными словами предложения, используйте новые конструкции.

1) длина	а) часы
2) высота	б) весы
3) масса	в) линейка
4) объём жидкости	г) мензурка
5) время	д) секундомер
6) температура	е) термометр

1. ……
2. ……
3. ……
4. ……
5. ……
6. ……

Прочитайте материал к уроку.

Физическую величину можно измерить, если сравнить её с физической величиной, принятой за единицу. Физические величины измеряют **инструментами** или **приборами.** Рассмотрите рисунки.

Инструменты

линейка

рулетка

мензурка

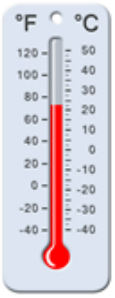
Линейкой и рулеткой можно измерить длину, ширину, высоту. Объём жидкостей измеряют мензуркой.

Приборы

часы

секундомер

весы



термометр

динамометр

Время измеряют секундомером или часами. Весы – это прибор для измерения массы. Термометр – это прибор для измерения температуры. Динамометр – это прибор для измерения силы.

Любые приборы и инструменты имеют **шкалу, на которой указаны единицы измерения**. Например, по линейке можно измерить длину в сантиметрах или в миллиметрах. По часам можно определить время в часах, минутах и секундах. Температуру можно измерить в градусах Цельсия, Кельвина. На приборе и инструменте указана **цена деления прибора** – минимальная единица измерения.

Чтобы измерить любую физическую величину, нужно правильно определить цену деления шкалы прибора или инструмента. Рассмотрите пример.

Чтобы определить цену деления линейки, нужно:

1) выбрать два любых числа, например 2 и 3 (смотрите рисунок);

2) посчитать число делений между цифрами 2 и 3;

3) посчитать цену деления линейки по формуле:

$$\text{Цена деления} = \frac{\text{Разность между числами}}{\text{Число делений}}$$

$$\text{Цена деления} = \frac{3-2}{4} = 0,25\ \text{см} = 2,5\ \text{мм}.$$

Длина линейки 6 см.
Цена деления линейки 2,5 мм.

Выполните задания.

Задание 1.11.7. Закончите предложения.

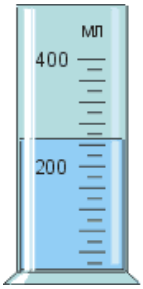
Пример: Весы – это физический прибор для измерения **массы**.

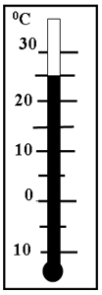
1. Мензурка – это физический прибор для измерения …….
2. Весы – это физический прибор для измерения …….
3. Термометр – это физический прибор для измерения …… .
4. Секундомером можно измерить ……...
5. Секундомер – это физический прибор для измерения ……...
6. Линейка – это физический прибор для измерения …….
7. Рулетка – это физический прибор для измерения …….. .
8. Динамометр – это прибор для измерения …….. .

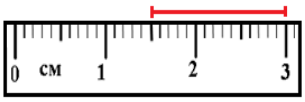
Задание 1.11.8. Вставьте пропущенные слова в нужном падеже.
Слова: часы, термометр, линейка, мензурка, рулетка, секундомер, динамометр.
Пример: Длину измеряют **линейкой**.

1. Длину измеряют …….. .
2. Большие расстояния измеряют …….. .
3. Время измеряют ..…….. .
4. Силу можно измерить …… .
5. Время можно измерить ……... .
6. Температуру измеряют …….. .
7. Объём жидкости можно измерить …….. .

Задание 1.11.9. Посмотрите на картинки. Под каждой картинкой напишите название прибора. Определите цену деления шкалы и показания приборов.







_____ _____ _____
_____ _____ _____
_____ _____ _____

_____ _____ _____
_____ _____ _____
_____ _____ _____

1.11.3. Прямые и косвенные измерения. Погрешность

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания

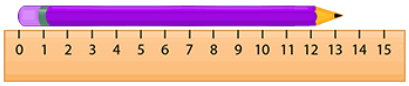
прямо́й
ко́свенный
и́стинный
спидо́метр
кирпи́ч
погре́шность
прибо́рная погре́шность
отклоне́ние
абсолю́тный
относи́тельный
сре́дний

Прочитайте материал к уроку.

Любую физическую величину можно измерить. Измерения могут быть **прямыми** и **косвенными**.

Прямые измерения

Прямое измерение – это измерение, в результате которого значение измеряемой величины получается сразу по шкале прибора. Рассмотрите рисунки.



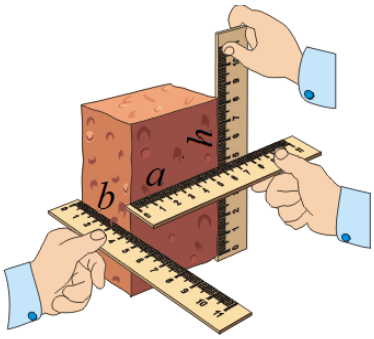
Длину карандаша измеряют линейкой. Это **прямое измерение**.

Человек бежит, и время измеряют секундомером. Это **прямое измерение**.

Температуру воздуха измеряют термометром. Это **прямое измерение**.

Косвенные измерения

Многие физические величины, такие как площадь (S), плотность тела (ρ) и другие, нельзя измерить прибором. **Косвенные измерения – это измерения, для нахождения которых сначала физические величины измеряют прямыми измерениями, а затем по их значениям с помощью формул вычисляют значение неизвестной величины.** Рассмотрите пример.



Например, найдём объём (V) кирпича. Объём равен:

$$V = a \cdot b \cdot h,$$

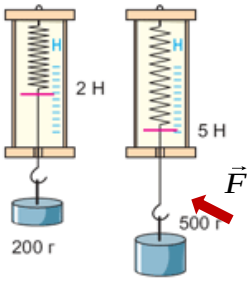
где a – длина, b – ширина, h – высота. Сначала линейкой измеряют длину, ширину и высоту. Это прямые измерения:

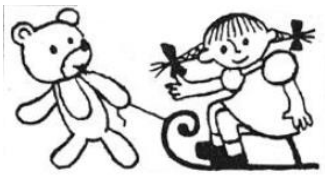
$$a = 6 \text{ см},$$
$$b = 4 \text{ см},$$
$$h = 8 \text{ см}.$$

Затем найдём объём по формуле: $V = a \cdot b \cdot h = 6 \cdot 4 \cdot 8 = 192$ см^3.

Одну и ту же величину можно найти и прямыми измерениями, и косвенными измерениями. Рассмотрите примеры.

Пример 1. Велосипедист движется, скорость движения показывает спидометр. Это **прямое измерение**. Скорость можно найти по формуле $\upsilon = \frac{S}{t}$. Это **косвенное измерение**.





Пример 2. Силу F можно измерить динамометром. Это **прямое измерение**. Силу можно найти по формуле $F = m \cdot a$. Это **косвенное измерение**.

Каждую измеренную физическую величину определяют с **погрешностью**.

Погрешность

Погрешность – это отклонение измеренного значения величины от её истинного значения. Погрешность бывает следующих видов: абсолютная и относительная.

1. **Абсолютная погрешность** – разность между точным (истинным) значением величины $x_{ист}$ и её приближённым (измеренным) значением $x_{измер}$:

$$\Delta x = \left| x_{ист} - x_{измер} \right|.$$

Истинное значение величины, как правило, не известно, поэтому вместо $x_{ист}$ берут **среднее значение величины** $x_{сред}$:

$$x_{сред} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n},$$

$$\Delta x = \left| x_{сред} - x_{измер} \right|,$$

где $x_{сред}$ – среднее значение физической величины; x_1, x_2, x_3, ... , x_n – измеренные значения; n – количество измерений.

Абсолютную погрешность применяют для сравнения точности измерения величин одного порядка и одной размерности.

2. **Относительная погрешность** – погрешность измерений, которая равна отношению абсолютной погрешности измерений Δx к истинному значению $x_{\text{ист}}$ измеряемой величины:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{ист}}} = \frac{\left| x_{\text{ист}} - x_{\text{измер}} \right|}{x_{\text{ист}}},$$

так как $x_{\text{ист}} = x_{\text{сред}}$, то $\delta_x = \dfrac{\Delta x}{x_{\text{сред}}} = \dfrac{\left| x_{\text{сред}} - x_{\text{измер}} \right|}{x_{\text{сред}}}$.

Относительная погрешность является безразмерной величиной либо измеряется в процентах:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{сред}}} \cdot 100\%.$$

3. Полная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta x = \sqrt{\left(\Delta x_{\text{сл}}\right)^2 + \left(\Delta x_{\text{сист}}\right)^2}$$

где $\Delta x_{\text{сл}}$ – случайная погрешность каждой физической величины:

$$\Delta x_{\text{сл}} = \sqrt{\frac{\left(x_1 - x_{\text{сред}}\right)^2 + \left(x_2 - x_{\text{сред}}\right)^2 + \ldots + \left(x_n - x_{\text{сред}}\right)^2}{n(n-1)}};$$

$\Delta x_{\text{сист}}$ – погрешность измерительного прибора, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях величины.

Выполните задания.

Задание 1.11.10. Измерьте линейные размеры тела кубической формы. Ознакомьтесь с методами расчёта погрешностей.

Порядок выполнения работы:

Погрешность прямых измерений

1. Выберите любой предмет для измерения: ……...
2. Возьмите линейку для проведения прямых измерений предмета.
3. Измерьте линейные размеры предмета (не менее $n = 5$ раз). Запишите результаты каждого измерения в таблицу. Найдите среднее значение результатов измерений*.

3	a, мм	b, мм	c, мм	V, мм^3
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение	$a_{\text{сред}} =$	$b_{\text{сред}} =$	$c_{\text{сред}} =$	$V_{\text{сред}} =$

* Среднее значение, например, величины a в физике обозначают $\langle a \rangle$, $\bar{a}$ или $a_{\text{ср}}$.

4. Найдите абсолютную погрешность для каждой измеренной величины по формуле $\Delta x = \left| x_{\text{сред}} - x_{\text{измер}} \right|$.

$\Delta a_1 =$ ……	$\Delta b_1 =$……	Δc_1 ……
$\Delta a_2 =$……	$\Delta b_2 =$ ……	Δc_2……
$\Delta a_3 =$……	$\Delta b_3 =$ ……	$\Delta c_3 =$ ……
$\Delta a_4 =$ ……	$\Delta b_4 =$ ……	$\Delta c_4 =$ ……
$\Delta a_5 =$ ……	$\Delta b_5 =$ ……	$\Delta c_5 =$ ……

5. Возведите в квадрат Δa_n, Δb_n, Δc_n:

$(\Delta a_1)^2 =$……	$(\Delta b_1)^2 =$ ……	$(\Delta c_1)^2 =$ ……
$(\Delta a_2)^2 =$……	$(\Delta b_2)^2 =$ ……	$(\Delta c_2)^2 =$ ……
$(\Delta a_3)^2 =$……	$(\Delta b_3)^2 =$ ……	$(\Delta c_3)^2 =$ ……
$(\Delta a_4)^2 =$……	$(\Delta b_4)^2 =$ ……	$(\Delta c_4)^2 =$ ……
$(\Delta a_5)^2 =$……	$(\Delta b_5)^2 =$ ……	$(\Delta c_5)^2 =$ ……

6. Определите среднеквадратичную погрешность серии *n* измерений по формуле

$$\delta_a = \sqrt{\frac{\left(a_1 - a_{\text{сред}}\right)^2 + \left(a_2 - a_{\text{сред}}\right)^2 + ... + \left(a_n - a_{\text{сред}}\right)^2}{n(n-1)}}.$$

$\delta_a =$ ……

$\delta_b =$ ……

$\delta_c =$ ……

7. Найдите абсолютную погрешность пяти измерений ($n = 5$) с надёжностью $\alpha = 0{,}95$:

$\Delta a_{\text{сис}} = 2{,}78 \cdot \delta_a = ...$

$\Delta b_{\text{сис}} = 2{,}78 \cdot \delta_b = ...$

$\Delta c_{\text{сис}} = 2{,}78 \cdot \delta_c = ...$

8. Определите погрешность одного измерения ($\alpha = 0{,}95$, $l = 0{,}5d$, где d – цена деления прибора):

$\Delta a_{\text{сл}} = \alpha \cdot l = ...$

$\Delta b_{\text{сл}} = \alpha \cdot l = ...$

$\Delta c_{\text{сл}} = \alpha \cdot l = ...$

9. Рассчитайте суммарную погрешность прямых измерений:

$\Delta a = \sqrt{\left(\Delta a_{\text{сл}}\right)^2 + \left(\Delta a_{\text{сист}}\right)^2} = ...$

$$\Delta b = \sqrt{\left(\Delta b_{\text{сл}}\right)^2 + \left(\Delta b_{\text{сист}}\right)^2} = ...$$

$$\Delta c = \sqrt{\left(\Delta c_{\text{сл}}\right)^2 + \left(\Delta c_{\text{сист}}\right)^2} = ...$$

10. Запишите окончательный результат:

$a \pm \Delta a = \ldots\ldots\ldots$

$b \pm \Delta b = \ldots\ldots\ldots$

$c \pm \Delta c = \ldots\ldots\ldots$

11. Найдите относительную погрешность:

$$\delta_a = \frac{\Delta a}{a_{\text{сред}}} \cdot 100\ \% = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\delta_b = \frac{\Delta b}{b_{\text{сред}}} \cdot 100\ \% = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\delta_c = \frac{\Delta c}{c_{\text{сред}}} \cdot 100\ \% = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Погрешность косвенных измерений

1. Если величины *a*, *b*, *c* входят в основную формулу в качестве сомножителей ($a \cdot b \cdot c = V$), то удобно использовать формулу:

$$V_{\text{сред}} = a_{\text{сред}} \cdot b_{\text{сред}} \cdot c_{\text{сред}} = ...$$

$$\Delta V = V_{\text{сред}} \sqrt{\left(\frac{1}{a_{\text{сред}}}\right)^2 (\Delta a)^2 + \left(\frac{1}{b_{\text{сред}}}\right)^2 (\Delta b)^2 + \left(\frac{1}{c_{\text{сред}}}\right)^2 (\Delta c)^2}$$

$$\left(\frac{1}{a_{\text{сред}}}\right)^2 = ... \quad \left(\frac{1}{b_{\text{сред}}}\right)^2 = ... \quad \left(\frac{1}{c_{\text{сред}}}\right)^2 = ...$$

2. Абсолютная погрешность $\Delta V = \ldots$

3. $V_{\text{сред}} \pm \Delta V = ...$

4. Относительная погрешность $\delta V = \left(\frac{\Delta V}{V_{\text{сред}}}\right) \cdot 100\% = \ldots .$

Задание 1.11.11. Ответьте на вопросы.

1.11. Какие измерения Вы знаете?

1.12. Какие измерения называются прямыми? Приведите примеры.

1.13. Какие измерения называются косвенными? Приведите примеры.

1.14. Что такое погрешность?

1.15. Какие виды погрешности Вы знаете?

1.11.4. Графики и их анализ

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
уравне́ние *чего? (Р.п.)* гра́фик *чего? (Р.п.)* зави́сеть *от чего? (Р.п.)* зави́симость *чего? (Р.п.)* от *чего? (Р.п.)* лине́йный, лине́йно совпада́ть *с чем? (Т.п.)*	пропорциона́льный, пропорциона́льно пря́мо пропорциона́льно зави́сеть от вре́мени *как?* линейно зави́сеть от вре́мени *как?* пря́мо пропорциона́льно

Выполните задания.

Задание 1.11.12. Составьте словосочетания.

1) график (движение)……
2) ось (время) ……
3) зависимость (путь) (время) (движение) ……
……
4) зависимость (скорость) (время) (движение) ……
……
5) зависимость (ускорение) (время) (движение) ……
6) график (зависимость) (путь) (время) (движение) ……
……
7) график (зависимость) (проекция) (скорость) (время) (движение) ……
……
8) график (зависимость) (проекция) (ускорение) (время) (движение) ……
……

Прочитайте и запомните.

Что (И.п.) **зависит от** *чего (Р.п.) как*
= Скорость **зависит от** времени линейно. =
= Зависимость скорости **от** времени линейная. =
= Скорость линейно увеличивается (возрастает) со временем. =
= Скорость прямо пропорциональна времени.

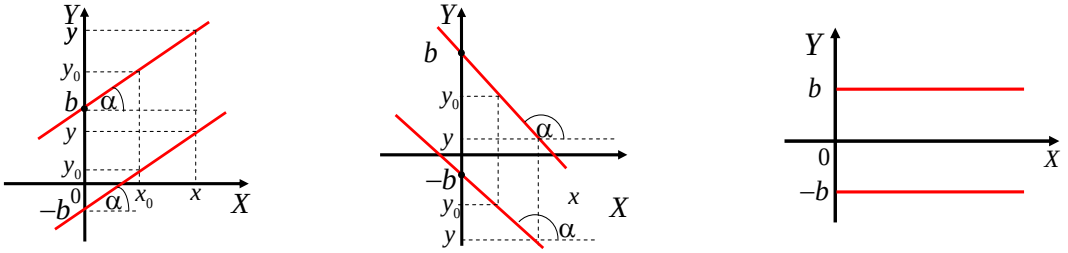
Прочитайте материал к уроку.

Результаты физического эксперимента можно представить в виде графика. **График – это зависимость одной физической величины от другой. Часто зависимости являются линейными или квадратичными.**

Линейная зависимость

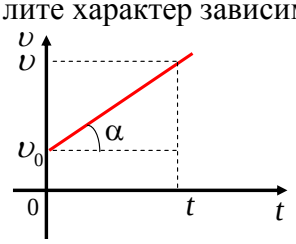
Графиком зависимости вида $y = kx + b$ является прямая. Зависимость игрек от икс $y = y(x)$ является линейной. Коэффициенты k и b этой зависимости могут быть положительными или отрицательными. Коэффициент b показывает точку пересечения прямой с осью OY. Коэффициент k показывает тангенс угла наклона к оси OX: $k = tg\alpha = \dfrac{y - y_0}{x - x_0}$. Коэффициент k может быть больше ($k > 0$), меньше ($k < 0$) или равен нулю ($k = 0$).

$k > 0$ $\qquad$ $k < 0$ $\qquad$ $k = 0$



$0 < \alpha < 90°$ $\qquad$ $90 < \alpha < 180°$ $\qquad$ $\alpha = 90°$

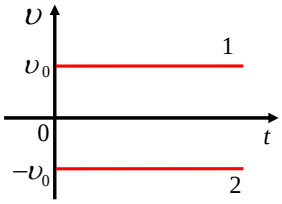
Пример 1. Дана зависимость скорости от времени $\upsilon = \upsilon(t)$: $\upsilon = \upsilon_0 + at$. Определите характер зависимости и коэффициенты. Постройте график.



Из уравнения $\upsilon = \upsilon_0 + at$ видно, что $y = \upsilon$, $x = t$, максимальная степень у t равна 1, $b = \upsilon_0$, $k = a$. Графиком зависимости скорости от времени является прямая, которая наклонена к оси времени. Тангенс угла наклона k равен a. Построим график зависимости $\upsilon = \upsilon(t)$.

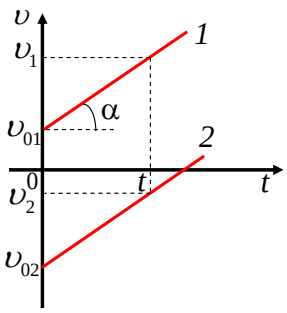
Пример 2. Даны графики зависимости $\upsilon = \upsilon(t)$. Расскажите об изменении физических величин.

1)



Из графика видно, что скорость постоянна (скорость не изменяется с течением времени): $\upsilon = \upsilon_0 = \text{const}$. Графиком зависимости скорости от времени является прямая, которая параллельна оси времени. Для прямой 1 $\upsilon_0 > 0$, для прямой 2 $\upsilon_0 < 0$. Коэффициент $a = \dfrac{\upsilon - \upsilon_0}{t - t_0} = \dfrac{\upsilon_0 - \upsilon_0}{\Delta t} = \text{tg}\alpha = 0$, следовательно, $\alpha = 0^\circ$.

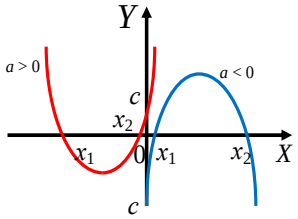
2)



Из графика видно, что скорость линейно зависит от времени. Графиком зависимости скорости от времени является прямая, которая наклонена к оси времени. Скорость υ_{01} в момент времени $t_0 = 0$ больше нуля: $\upsilon_{01} > 0$. Скорость υ_{02} в момент времени $t_0 = 0$ меньше нуля: $\upsilon_{02} < 0$. Коэффициенты a равны: $a_1 = \dfrac{\upsilon_1 - \upsilon_{01}}{t_1 - t_{01}} > 0$,

$a_2 = \dfrac{\upsilon_2 - \upsilon_{02}}{t_2 - t_{02}} > 0.$

Квадратичная зависимость



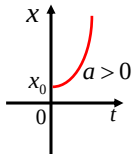
Графиком зависимости $y = ax^2 + bx + c$ является парабола. Зависимость $y = y(x)$ является параболической. При $a > 0$ ветвь параболы направлены вверх. При $a < 0$ ветвь параболы направлены вниз. Парабола пересекает ось OY в точке с координатой c.

Если $y = 0$, то $ax^2 + bx + c = 0$ – это квадратичное уравнение.

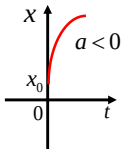
Решение уравнения: $x_1 = \dfrac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ и $x_2 = \dfrac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$. В точках $(x_1, 0)$ и $(x_2, 0)$ парабола пересекает ось x. Рассматривать все возможные коэффициенты a, b, c не будем.

Пример 3. Дана зависимость координаты от времени $x = \pm x_0 \pm \upsilon_0 t \pm \dfrac{at^2}{2}$. Определить характер зависимости. Построить графики.

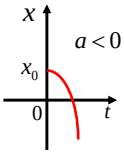
Максимальная степень у времени в уравнении $x = x(t)$ равна 2. Зависимость $y = y(x)$ является параболической. Коэффициенты $c = \pm x_0$, $b = \pm \upsilon_0$, $a = \pm \dfrac{a}{2}$. Построим графики для всех случаев. Графиком является ветвь параболы.



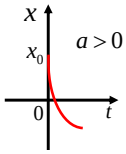
$x = x_0 + \upsilon_0 t + \dfrac{at^2}{2}$



$x = x_0 + \upsilon_0 t - \dfrac{at^2}{2}$



$x = x_0 - \upsilon_0 t - \dfrac{at^2}{2}$



$x = x_0 - \upsilon_0 t + \dfrac{at^2}{2}$

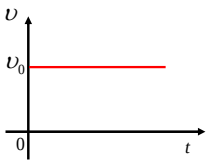
Выполните задания.

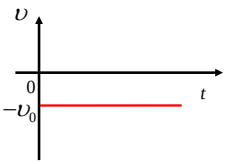
Задание 1.11.13.

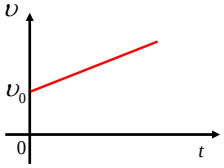
1. Расскажите о линейной зависимости.
2. Расскажите о параболической зависимости.

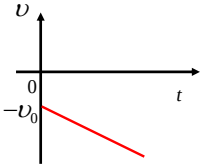
Задание 1.11.14.

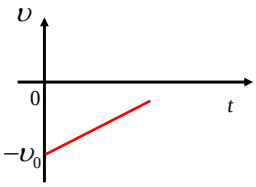
Даны графики зависимости. Расскажите об изменении физических величин: скорости (υ), координаты (x), времени (t).

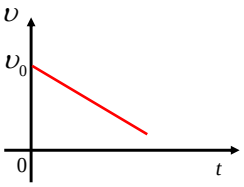


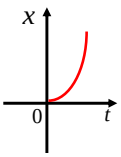


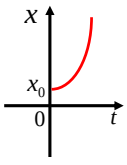








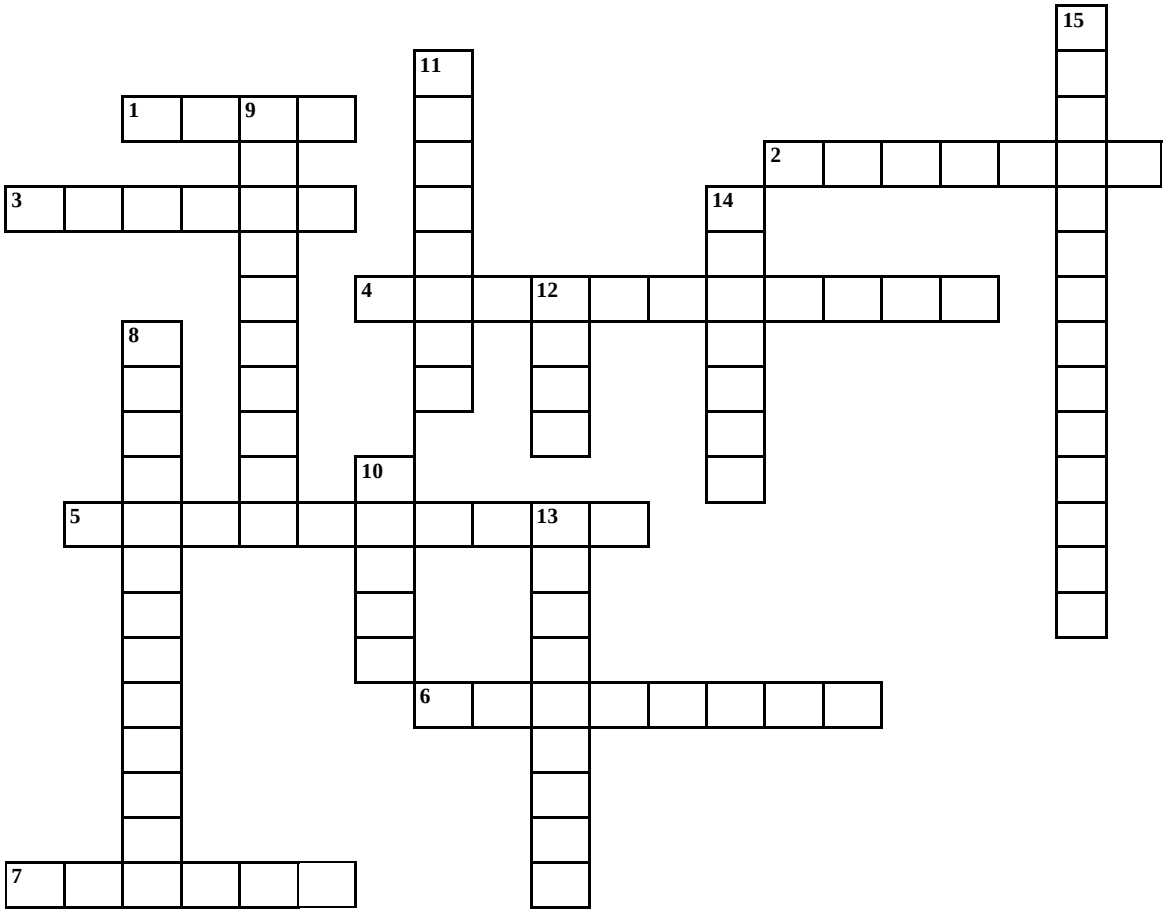




Задание 1.11.15. Разгадайте кроссворд на тему «Элементы векторной алгебры. Физические термины и понятия на русском языке».

По горизонтали: **1.** Прибор для измерения массы. **2.** Четырёхугольник, у которого все стороны равны и углы прямые. **3.** Наука о физических явлениях природы, свойствах вещества и поля. **4.** Фигура, у которой три стороны и три вершины. **5.** Чем определяется положение точки на линии, плоскости и в пространстве. **6.** Разность координат конца и начала вектора на ось *OX* или *OY*. **7.** Отрезок прямой линии, который имеет направление и величину.

По вертикали: **8.** Фигура, у которой 4 стороны, противоположные стороны равны и параллельны, углы прямые. **9.** Прибор для измерения времени. **10.** Модуль вектора. **11.** Чем измеряют объём жидкости. **12.** Два луча, которые выходят из одной точки. **13.** Прибор для измерения температуры. **14.** Механические, звуковые, тепловые, электромагнитные, световые – все это физические … . **15.** Четырёхугольник, у которого противоположные стороны попарно равные и параллельные, а углы не прямые.



РАЗДЕЛ 2. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Тема 2.1. Кинематика – часть механики. Относительность движения. Система отсчёта

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
меха́ника	движе́ние *чего? (Р.п.)*
кинема́тика	моме́нт *чего? (Р.п.)*
ста́тика	тече́ние вре́мени
дина́мика	поко́й
зако́н *кого? чего? (Р.п.)*	поко́иться
положе́ние *чего? (Р.п.)*	отсчёт
дви́гаться относи́тельно *чего? (Р.п.)*	простра́нство

Выполните задания.

Задание 2.1.1. Составьте словосочетания.

1) закон (физика) ……
2) закон (механическое движение) ……
3) положение (тело) ……
4) изменение (положение) (тело) ……
5) момент (время) ……
6) тело (отсчёт) ……
7) движение (тело) ……
8) система (отсчёт) ……

Прочитайте и запомните.

Тело движется. = Тело изменяет своё положение.
Тело движется относительно *чего* (*Р.п.*) = Тело изменяет своё положение относительно *чего* (*Р.п.*)

Машина едет. = Машина изменяет своё положение.
Машина движется относительно дома. = Машина изменяет своё положение относительно дома.

Тело не движется. = Тело находится в покое. = Тело покоится.
Тело не движется относительно *чего* (*Р.п.*). = Тело находится в покое относительно *чего* (*Р.п.*). = Тело покоится относительно *чего* (*Р.п.*).

Машина стоит. = Машина не движется. = Машина находится в покое. = Машина покоится.
Машина не движется относительно дома. = Машина находится в покое относительно дома. = Машина покоится относительно дома.

Выполните задания.

Задание 2.1.2. Посмотрите на рисунок. Составьте предложения, используя новые конструкции и данные слова.

1. дерево, машина.
2. женщина около светофора, светофор.
3. велосипед, дерево.
4. велосипедист, светофор.
5. пассажир автомобиля, этот автомобиль.
6. собака, дом.
7. велосипедист, велосипед.

Прочитайте материал к уроку.

Физика – это наука о природе. Физика изучает свойства материи: вещества и поля и их изменения. Любое изменение материи – это движение. Простейшей формой движения материи является механическое движение.

Механика – это часть физики, которая изучает законы механического движения и взаимодействия тел. Классическая механика рассматривает тела, которые движутся с малыми скоростями. Механика изучает, как движется тело, почему движется тело, почему тело не движется (находится в покое). Механика делится на три части: кинематику, динамику, статику.

Кинематика изучает виды механического движения и отвечает на вопрос «Как движется тело?». Основной задачей кинематики является определение положения тела в пространстве в любой момент времени.

Динамика изучает причины движения тела и отвечает на вопрос «Почему движется тело?». Динамика изучает влияние взаимодействия тел на их механическое движение.

Статика изучает причины покоя и отвечает на вопрос «Почему тело не движется (находится в покое)?».

Механическое движение – это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени. Если тело движется, то его положение меняется относительно других тел. Определить положение тела в пространстве можно только относительно другого тела, которое называется **телом отсчёта**. Любое тело может быть телом отсчёта. Рассмотрите примеры.

Машина движется по улице относительно домов. Машина – это данное **физическое тело**. Дом – это **тело отсчёта**. Машина изменяет своё положение относительно других тел с течением времени.

Человек движется относительно дерева. Человек – **физическое тело**. Дерево – это **тело отсчёта**. Человек изменяет положение относительно других тел с течением времени.

Если тело не движется, то тело **покоится (находится в покое)**. Например, человек стоит около дерева. Относительно дерева человек покоится. Человек не изменяет своё положение относительно других тел.

Механическое движение и покой относительны, потому что тело одновременно может находиться и в покое, и в движении. Например, человек сидит в машине, а машина движется относительно дома. Человек находится в покое относительно машины, но человек движется относительно дома.

Если с телом отсчёта связать систему координат и часы, то это будет система отсчёта.

Выполните задания.

Задание 2.1.3. Опишите картинки по примеру. Назовите тела отсчёта, относительно которых тела движутся или находятся в покое.

Пример.
Самолёт летит.
Самолёт изменяет своё положение относительно других тел.
Самолёт движется относительно Солнца.

……
……
……
……

……
……
……
……

……
……
……
……

Задание 2.1.4. Прочитайте предложения. Назовите тела отсчёта, относительно которых тела движутся или находятся в покое.

1. Лодка плывёт по реке.
2. Машина стоит на улице.
3. Машина движется по улице.
4. Тело лежит на Земле.
5. Земля движется вокруг Солнца.
6. Человек в самолёте движется вокруг Земли.

Задание 2.1.5. Выберите физические тела, которые вас окружают, и напишите:

1) тело отсчёта, относительно которого физическое тело движется;
2) тело отсчёта, относительно которого физическое тело покоится.

Тема 2.2. Траектория. Вектор перемещения. Путь

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
траекто́рия	промежу́ток *чего? (Р.п.)*
пу́ть (м.р.)	нача́льное положе́ние те́ла
перемеще́ние	коне́чное положе́ние те́ла
ра́диус-ве́ктор	прямолине́йное движе́ние
интерва́л *чего? (Р.п.)*	криволине́йное движе́ние

Прочитайте и запомните.

Интервал времени (Δt) = промежуток времени (Δt)

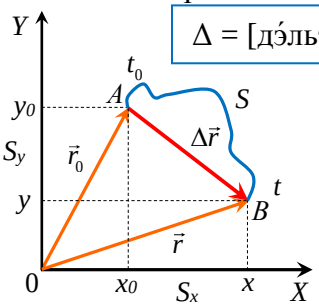
Выполните задания.

Задание 2.2.1. Составьте словосочетания.

1. движение (тело) ……
2. время (движение) (тело) ……
3. траектория (движение) (тело) ……
4. длина (траектория) (движение) (тело) ……
5. вектор (перемещение) ……
6. модуль (вектор) (перемещение) ……
7. интервал (время) ……
8. промежуток (время) ……

Прочитайте материал к уроку.

Траекто́рия – это линия, которая остаётся при движении тела. Траектория может быть прямой линией или кривой линией.



Δ = [дэ́льта]

Рассмотрите рисунок. Тело движется из точки A в точку B по криволинейной траектории AB. Точка A – это начальное положение тела в момент времени t_0. Координата точки $A(x_0, y_0)$. Положение точки А можно задать радиус-вектором $\vec{r}_0$. Точка B – это конечное положение тела в момент времени t. Координата точки $B(x, y)$. Можно задать положение точки B радиус-вектором $\vec{r}$.

Перемещение материальной точки за промежуток времени (или интервал времени) $\Delta t = t - t_0$ равно $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$. **Перемещение – это вектор, который показывает, на какую величину и в каком направлении переместилось тело.** Вектор перемещения направлен из начального положения тела в конечный. Модуль вектора перемещения равен:

$$|\Delta\vec{r}| = \Delta r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}\ .$$

Длина траектории – это путь, который пройдёт тело за время Δ*t*. Путь обозначается буквой S. Путь – это скалярная физическая величина, которая больше или равна нулю ($S \geq 0$).

В зависимости от формы траектории движение можно разделить на прямолинейное и криволинейное. Рассмотрите рисунки.

Прямолинейное движение – это движение тела по прямой линии.

Криволинейное движение – это движение тела по кривой линии.

Если движение происходит по окружности или косинусоиде, то движение криволинейное. Движение, которое повторяется через определённый промежуток времени, называется периодическим. Примером такого движения является движение Земли вокруг Солнца, человека на качели и т. д.

Кинематическими уравнениями движения тела являются зависимости координаты, пути и перемещения от времени.

ЗАПОМНИТЕ!

Путь всегда больше или равен нулю, $S \geq 0$.

$\Delta\vec{r}$ – вектор перемещения, или перемещение.

Если движение криволинейное, то $S > |\Delta\vec{r}|$.

Если движение прямолинейное, то $S = |\Delta\vec{r}|$.

Выполните задания.

Задание 2.2.2. Прочитайте диалог. Ответьте на вопросы письменно.

Диалог

– Скажите, какие характеристики механического движения мы сегодня выучили на уроке?

– Перемещение, путь, траектория.

– Что такое траектория?

– Траектория – это линия, которая остаётся при движении тела.

– Какие могут быть формы траектории движения?

– Тело может двигаться по прямой, тогда траектория – прямая линия. Если тело изменяет направление движения, тогда траектория – кривая линия.

– Молодец. А что такое путь?

– Путь – это длина траектории.

– Хорошо. Что такое перемещение? Чем путь отличается от перемещения?

– Во-первых, путь и перемещение могут быть равны, только если тело движется по прямой линии. Но если траектория – не прямая линия, то перемещение не равно пути.

– Правильно. А во-вторых?

– Во-вторых, перемещение – это вектор, который соединяет начальное и конечное положение тела в пространстве: точку ***A*** и точку ***B***. В точке ***A*** тело было в начале движения, а в точке ***B*** тело было в конце движения. Когда мы соединяем эти точки, мы получаем вектор перемещения $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$.

– Очень хорошо. Вы всё поняли правильно. И ещё очень важно, что путь – это скалярная величина, а перемещение – вектор.

– Да. Это я понял.

– А мы можем найти проекции вектора перемещения на координатные оси?

– Конечно. И мы увидим, что за время движения тела его координаты изменились. Это изменение обозначают знаком Δ. На оси x это будет изменение на величину $\Delta x = x - x_0$, а на оси y – изменение на величину $\Delta y = y - y_0$.

– Молодец!

Вопросы

1. О каких физических величинах говорится в тексте?
2. Какие физические величины являются скалярными, а какие векторными?
3. В каком случае путь будет равен перемещению?
4. Каким знаком обозначается изменение физической величины?

Задание 2.2.3. Найдите проекции вектора перемещения на оси OX и OY. Найдите модуль вектора перемещения, если тело двигалось из точки A в точку B.

1) $A_1(-3, 5)$, $B_1(2, 1)$ 2) $A_2(4, -1)$, $B_2(1, 3)$ 3) $A_3(0, -2)$, $B_3(0, 2)$

Задание 2.2.4. Посмотрите на графики $y(x)$ движения тела. Найдите:

1) путь и модуль вектора перемещения тела из точки A в точку F (рисунок а).

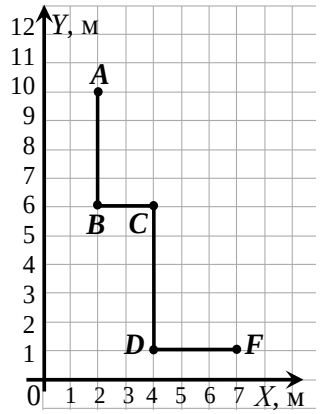
2) путь и модуль вектора перемещения тела из точки A в точку F (рисунок б).

3) путь и модуль вектора перемещения тела из точки A в точку M (рисунок в).

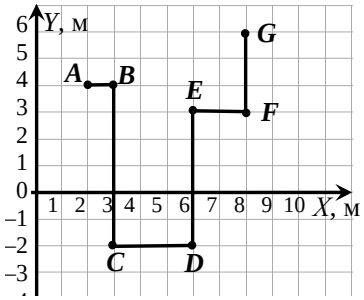
4) путь и модуль вектора перемещения тела из точки A в точку C (рисунок г).

5) путь и модуль вектора перемещения тела из точки A в точку B, и из точки A в точку A (рисунок д).

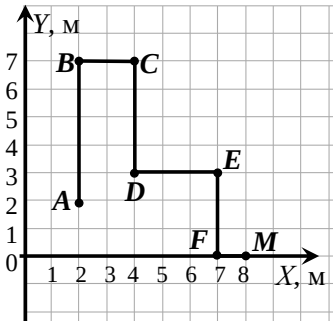
6) путь и модуль вектора перемещения тела из точки A в точку R (рисунок е).



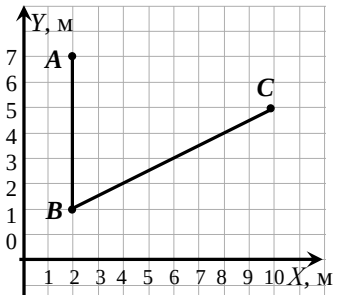
а)



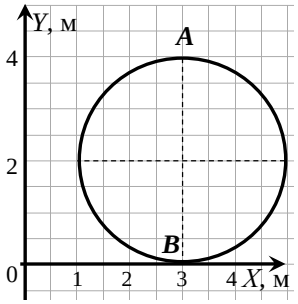
б)



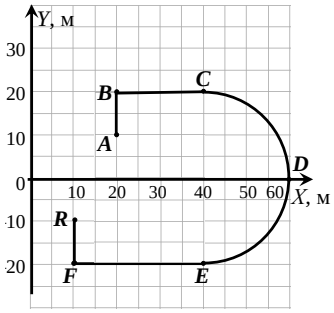
в)



г)



д)



е)

Тема 2.3. Скорость

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
ско́рость *чего? (Р.п.)*	преде́л
сре́дний	произво́дная *отчего? (Р.п.) по чему? (Д.п.)*
мгнове́нный	каса́тельная
ускоре́ние	отношение *чего? (Р.п.) к чему? (Д.п.)*
бы́стро	зави́сеть *от чего? (Р.п.)*
быстрота́ *чего? (Р.п.)*	равноме́рный
	перемéнный

Выполните задания.

Задание 2.3.1. Составьте словосочетания.

1) (средний) скорость ...
2) вектор (средний) (скорость) ...

3) (мгновенный) скорость ...
4) направление (перемещение) ...
5) быстрота (перемещение) (тело) ...
6) движение (тело) (равномерный) ...
7) движение (тело) (переменный) ...

Прочитайте конструкции и примеры.

отношение *чего (Р.п.) к чему (Д.п.)*
отношение перемещения к промежутку времени
отношение пути к промежутку времени

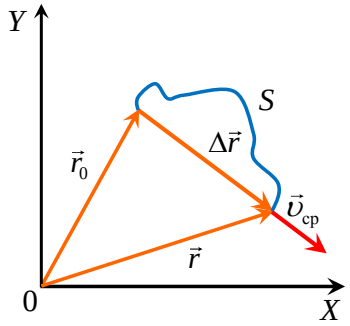
Производная *от чего (Р.п.) по чему (Д.п.)*
производная от перемещения по времени
производная от пути по времени

Что (И.п.) **зависит** *от чего (Р.п.)*
Путь **зависит** от времени.
Модуль перемещения **зависит** от времени.

Прочитайте материал к уроку.

В механике для характеристики движения тела вводят понятия скорости и ускорения. **Ско́рость – это векторная физическая величина, которая определяет направление и быстроту перемещения тела в пространстве.** В системе СИ скорость измеряется в метрах в секунду: **[υ] = 1 м/с.** Скорость можно измерить в километрах в час (км/ч).

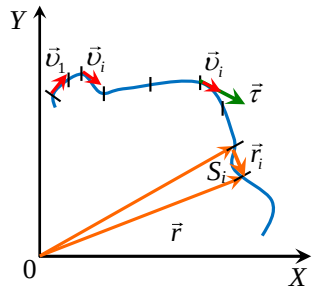
В механике используют понятия средней и мгновенной скорости.



Средняя скорость ($\vec{\upsilon}_{ср}$) – это векторная величина, которая равна отношению перемещения $\Delta\vec{r}$ к промежутку времени Δt, за который это перемещение произошло:

$$\vec{\upsilon}_{ср} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}.$$

Вектор средней скорости направлен так же, как $\Delta\vec{r}$: $\vec{\upsilon}_{ср} \uparrow\uparrow \Delta\vec{r}$. Модуль вектора перемещения равен $|\Delta\vec{r}| = |\vec{\upsilon}_{ср}| \cdot \Delta t$.



Разделим весь путь, пройденный телом, на отрезки. Средние скорости материальной точки на разных отрезках будут не равны друг другу. Тогда, чем меньше участок $\Delta\vec{r}_i$, тем меньше Δt_i ($\Delta t_i \to 0$). Следовательно, при $\Delta t_i \to 0$ будем считать, что движение прямолинейное $|\Delta r_i| \approx S_i$. Для такого движения вводят понятие **мгновенной скорости**.

Мгновенная скорость ($\vec{\upsilon}_{\text{мгн}}$) – это скорость в данный момент времени в данной точке траектории. **Мгновенная скорость – это векторная физическая величина, которая равна отношению перемещения $\Delta\vec{r}$, взятого за очень маленький промежуток времени ($\Delta t \to 0$), к этому промежутку времени Δt. Мгновенная скорость – это первая производная от перемещения по времени.**

$$\vec{\upsilon}_{\text{мгн}} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}'.$$

Читаем формулу: предел (lim) отношения перемещения ($\Delta\vec{r}$) к промежутку времени (Δt), который стремится к нулю ($\Delta t \to 0$), равен первой производной от радиус-вектора ($\vec{r}$) по времени и обозначается $\frac{d\vec{r}}{dt}$ или $\vec{r}'$.

Вектор мгновенной скорости тела направлен по касательной ($\vec{\tau}$) к траектории в сторону движения. Мгновенную скорость можно записать как

$$\vec{\upsilon}_{\text{мгн}} = \frac{dS}{dt}\vec{\tau},$$

τ = [тау]

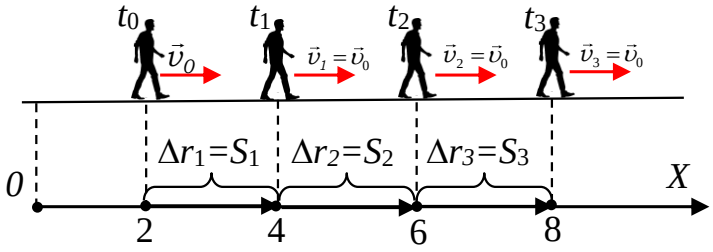
где $\vec{\tau}$ – вектор, который направлен по касательной к данной точке траектории движения тела в сторону её движения.

ЗАПОМНИТЕ!

Мгновенная скорость тела – это скорость тела в данный момент времени в данной точке пространства.

Если скорость тела постоянна по величине ($\vec{\upsilon} = \text{const}$), такое движение является **равномерным**.

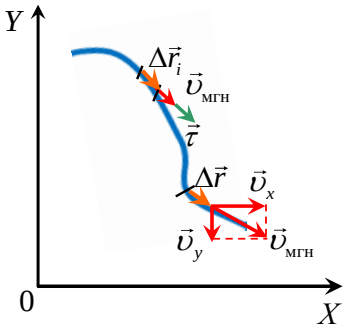
Если скорость тела постоянна по величине и по направлению, то такое движение является **прямолинейным равномерным движением**.



$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \text{const},$$
$$\Delta r_1 = \Delta r_2 = \Delta r_3 =$$
$$= S_1 = S_2 = S_3 = \text{const},$$
$$\vec{\upsilon}_0 = \vec{\upsilon}_1 = \vec{\upsilon}_2 = \vec{\upsilon}_3 = \text{const}.$$

Прочитайте и запомните.

const = константа (постоянная величина)

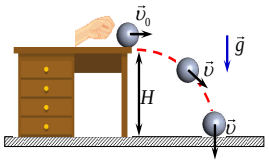


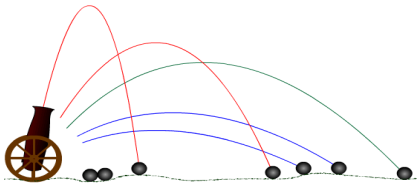
Если скорость изменяется по направлению, то движение является **криволинейным**. При криволинейном движении мгновенную скорость $\vec{\upsilon}_{мгн}$ можно разложить на составляющие вдоль оси OX и OY: $\vec{\upsilon}_{мгн} = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y$.

Модуль мгновенной скорости равен:

$$\upsilon_{мгн} = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2}\,.$$

В механике используют принцип независимости движения – это принцип сложения нескольких одновременных движений: $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2$. Примеры таких движений представлены на рисунках. В данной теме мы их рассматривать не будем.





Пример 1. Путь зависит от времени по закону $S(t) = 6t^2 + 3t$ (м). Найдите модуль мгновенной скорости тела в момент времени 2 с. Чему равна начальная скорость тела? Какой путь тело пройдёт за время 2 с?

Дано:

$S(t) = 6t^2 + 3t$

Найти:

$\upsilon_{мгн}$ – ?

υ_0 – ?

S – ?

Решение:

Чтобы найти модуль мгновенной скорости, нужно найти первую производную от пути по времени:

$$\upsilon_{мгн}(2) = \frac{dS}{dt} = S' = (6t^2 + 3t)' = 12t + 3 \text{ (м/с)}.$$

Модуль скорости зависит от времени. В момент времени 2 с мгновенная скорость равна: $\upsilon_{мгн} = 12 \cdot 2 + 3 = 27$ м/с.

В момент времени $t = 0$ (начальный момент времени) мгновенная скорость равна: $\upsilon_0 = 12 \cdot 0 + 3 = 3$ м/с. Модуль начальной скорости равен 3 м/с.

За время 2 с тело пройдёт путь, равный: $S(t) = 6 \cdot 2^2 + 3 \cdot 2 = 30$ м.

Ответ: $\upsilon_{мгн}(2) = 27$ м/с, $\upsilon_0 = 3$ м/с, $S(2) = 30$ м.

Выполните задания.

Задание 2.3.2. Вставьте пропущенные слова в нужных формах.
Слова: путь, траектория, перемещение, направление, скалярный, время, векторный, скорость.

1. Скорость – векторная физическая величина, которая определяет …… и быстроту перемещения тела в пространстве.
2. Средняя скорость – это …… физическая величина, которая равна отношению …… к промежутку времени, за который это …… произошло.
3. Мгновенная скорость – это …… в данный момент …… в данной точке пространства.
4. Вектор мгновенной скорости точки направлен по касательной к …… в сторону движения.

Задание 2.3.3. Найдите соответствие.

	Скорость тела за равные промежутки времени разная.
	Скорость тела во всех точках траектории постоянная.
Равномерное движение	Во всех точках траектории $\vec{\upsilon} \neq \text{const}$.
	$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \text{const},\ \Delta r_1 \neq \Delta r_2 \neq \Delta r_3$.
Переменное движение	Скорость тела в любой момент времени постоянная.
	$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \text{const},\ \Delta r_1 = \Delta r_2 = \Delta r_3 = S_1 = S_2 = S_3 = \text{const}$.

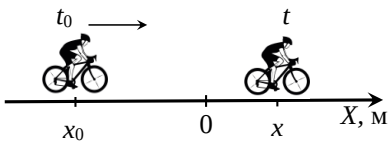
Задание 2.3.4. Сделайте рисунок и решите задачу.
Тело двигалось в положительном направлении оси *OX*. Координата точки в начальный момент времени 2 с равна 8 м. Через 4 с тело находилось в точке с координатой 20 м. Найдите модуль и проекцию средней скорости тела. Какое направление имеет вектор средней скорости?

Задание 2.3.5. Сделайте рисунок и решите задачу.
Тело двигалось в отрицательном направлении оси *OX*. Координата точки в начальный момент времени $t_0 = 0$ с равна 28 м. В конечный момент времени 2 с тело находилось в точке с координатой 8 м. Найдите модуль и проекцию средней скорости тела.

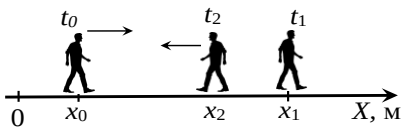
Задание 2.3.6. Решите задачу. Посмотрите на рисунки. Ответьте на вопросы:

1. Чему равно время движения?
2. Чему равен модуль перемещения тел?
3. Чему равен путь?
4. Чему равна средняя скорость перемещения?
5. Чему равна средняя скорость пути?

$x_0 = 5$ м, $x = 30$ м;
$t_0 = 0$ с, $t = 5$ с;



$x_0 = -15$ м, $x = 5$ м;
$t_0 = 0$ с, $t = 4$ с;



$x_0 = 4$ м, $x_1 = 44$ м; $x_2 = 28$ м;
$t_0 = 0$ с, $t_1 = 1$ мин; $t_2 = 80$ с;

6*. Составьте и запишите условие задачи для одного случая.

Задание 2.3.7. Решите задачу в тетради, сделайте рисунок.
Студенты получили задание пройти путь, равный 400 м на север, 500 м на восток, 600 м на юг, 200 м на запад, 200 м на север и 300 м на запад. Постройте траекторию движения студентов, определите пройденный путь и перемещение.

Задание 2.3.8. Решите задачу в тетради.
Машина двигалась первую половину пути ΔS_1 со средней скоростью 40 км/ч, вторую половину пути ΔS_2 со средней скоростью 60 км/ч. Найдите среднюю скорость машины на всём пути.

[48 км/ч]

Задание 2.3.9. Решите задачу в тетради.
Машина двигалась первую треть пути со скоростью 15 км/ч, а вторую часть пути со скоростью 30 км/ч. Найдите среднюю скорость движения машины на всём пути.

[22,5 км/ч]

Задание 2.3.10. Решите задачу в тетради.
Материальная точка движется по оси OX по закону $x = 15 + 8t - 2t^2$ (м). Чему равна координата материальной точки в момент времени, когда она остановится?

[23 м]

Задание 2.3.11. Решите задачу в тетради.
Найдите мгновенную скорость в начальный момент времени, если зависимость пути от времени при прямолинейном движении имеет уравнение: $S = 5t - 0{,}5t^2$ (м). Найдите время остановки. Какой путь пройдёт тело до остановки?

$\left[\upsilon_0 = 5 \text{ м/с}; t_к = 5 \text{ с}; S_к = 12{,}5 \text{ м}\right]$

Задание 2.3.12. Решите задачу в тетради.
Пройденный путь зависит от времени по закону: $S = 20t - 2t^2$ (м). Найдите мгновенную скорость тела. Найдите время остановки. Какой путь тело пройдёт за это время?

$\left[t_к = 5 \text{ с}; S_к = 50 \text{ м}\right]$

Тема 2.4. Ускорение

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

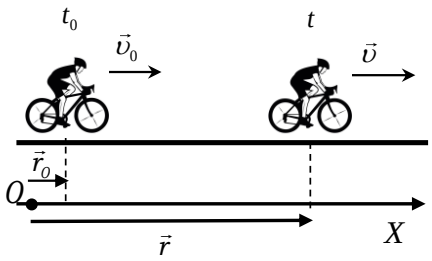
Новые слова и словосочетания	
ускоре́ние	остана́вливаться
мгнове́нный	тормози́ть
увели́чиваться	уско́ренный
уменьша́ться	заме́дленный

Выполните задания.

Задание 2.4.1. Составьте словосочетания.

1) вектор (ускорение) ……
2) вектор (изменение) (скорость) ……
3) направление (вектор) (ускорение) ……
4) направление (вектор) (изменение) (скорость) ……

Прочитайте материал к уроку.



Другой кинематической характеристикой движения тела является ускорение.

Ускорение ($\vec{a}$) – это векторная физическая величина, которая характеризует быстроту изменения скорости в единицу времени:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}.$$

В системе СИ ускорение измеряется в метрах в секунду в квадрате: $[a] = 1$ м/с^2.

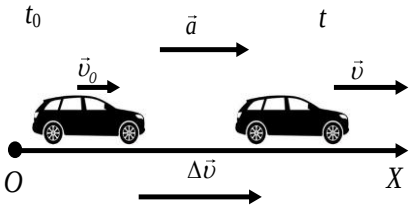
Направление вектора ускорения совпадает с направлением вектора изменения скорости: $\vec{a} \uparrow\uparrow \Delta\vec{\upsilon}$.

Если изменение скорости происходит за очень малый промежуток времени, то ускорение равно первой производной скорости по времени:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \vec{\upsilon}'$$

Когда тело движется, то скорость тела может увеличиваться или уменьшаться. Рассмотрите рисунки.

Если скорость тела увеличивается, то **движение ускоренное.**



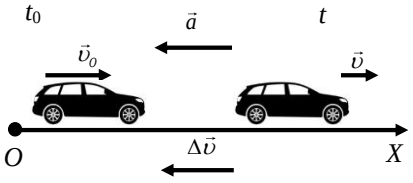
Скорость тела увеличивается:

$$|\vec{\upsilon}| > |\vec{\upsilon}_0|,$$

Направления векторов $\vec{a}$ и $\vec{\upsilon}_0$, $\vec{\upsilon}$ совпадают: $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}$. Вектор ускорения $\vec{a}$ и вектор скорости $\vec{\upsilon}$ направлены **одинаково**, значит, **движение ускоренное**.

Если скорость тела увеличивается в единицу времени на одинаковую величину, то движение является равноускоренным.

При уменьшении скорости тела движение является **замедленным** (тело останавливается, тело тормозит).



Скорость тела уменьшается:

$$|\vec{\upsilon}| < |\vec{\upsilon}_0|,$$

Направления векторов $\vec{a}$ и $\vec{\upsilon}$ противоположны: $\vec{a} \uparrow\downarrow \vec{\upsilon}$. Вектор ускорения $\vec{a}$ и вектор скорости $\vec{\upsilon}$ направлены **противоположно,** значит, **движение замедленное**.

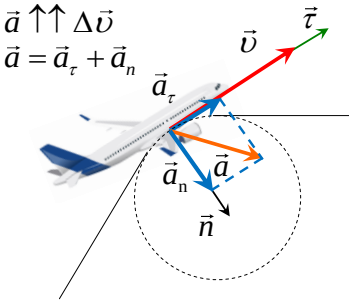
Если скорость тела уменьшается в единицу времени на одинаковую величину, то движение является равнозамедленным.

ЗАПОМНИТЕ!

Для ускоренного движения тела направления ускорения и скорости совпадают: $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}$.
Для замедленного движения тела направления ускорения и скорости противоположны: $\vec{a} \uparrow\downarrow \vec{\upsilon}$.

Тангенциальное и нормальное ускорения

При криволинейном движении появляется нормальная составляющая ускорения, которая отклоняет тело от прямолинейного движения. Тогда вектор ускорения $\vec{a}$ можно разложить на составляющие $\vec{a}_\tau$ и $\vec{a}_n$: $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$.



Рассмотрите рисунок.

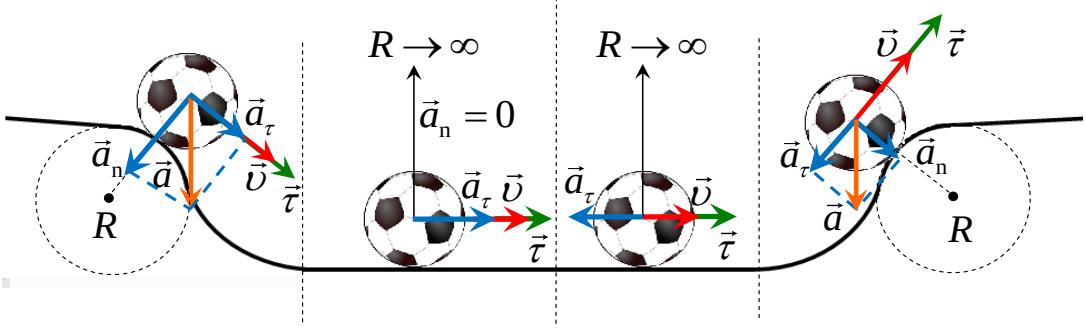
Тангенциальное ускорение $\vec{a}_\tau$ характеризует быстроту изменения скорости по величине $\vec{a}_\tau = \dfrac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}$. Направлено $\vec{a}_\tau$ по касательной к траектории движения.

Если $\Delta\upsilon > 0$, то $\vec{a}_\tau$ скорости и тангенциального ускорения совпадают: $\vec{a}_\tau \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}$. Такое движение является ускоренным.

Если $\Delta\upsilon < 0$, то $\vec{a}_\tau$ скорости и тангенциального ускорения противоположны: $\vec{a}_\tau \uparrow\downarrow \vec{\upsilon}$. Такое движение является замедленным. Нормальное (центростремительное) ускорение $\vec{a}_n$ характеризует изменение скорости по направлению и направлено по нормали $\vec{n}$ к траектории движения.

Если $\vec{a}_n = 0$, то $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n = \vec{a}_\tau$, тело движется прямолинейно. Рассмотрите примеры.

Ускоренное движение | Замедленное движение



Криволинейное движение	Прямолинейное движение	Криволинейное движение
$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$	$\vec{a} = \vec{a}_\tau$	$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$

Пример 1. Путь зависит от времени по закону $S(t) = 6t^2 + 3t$ (м). Найдите модуль мгновенной скорости и модуль ускорения. Какое это движение?

Дано:
$S(t) = 6t^2 + 3t$

Найти:
$\upsilon_{\text{мгн}} - ?$
$a - ?$

Решение:

Чтобы найти модуль мгновенной скорости, нужно найти первую производную от пути по времени:

$$\upsilon_{\text{мгн}} = \frac{dS}{dt} = S' = (6t^2 + 3t)' = 12t + 3 \text{ (м/с)}.$$

В момент времени $t_0 = 0$ (начальный момент времени) начальная скорость равна: $\upsilon_0 = 12 \cdot 0 + 3 = 3$ м/с.

Модуль ускорения тела равен:

$$a = \frac{d\upsilon}{dt} = (12t + 3)' = 12 \text{ м/с}^2.$$

$a > 0$ и $\upsilon_{\text{мгн}} > 0 \Rightarrow$ движение равноускоренное.

Ответ: $a = 12$ м/с^2, $\upsilon_{\text{мгн}} = 12t + 3$ м/с.

Выполните задания.

Задание 2.4.2. Закончите предложение.

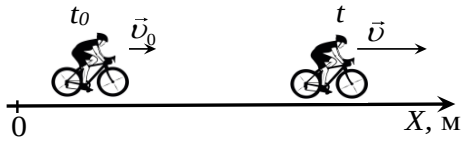
1. При ускоренном движении скорость тела …… .
2. При замедленном движении скорость тела …… .
3. Направления вектора ускорения $\vec{a}$ и вектора изменения скорости $\Delta\vec{\upsilon}$ всегда …… .
4. При ускоренном движении направления векторов $\vec{a}$ и $\vec{\upsilon}$ …… …… .
5. При замедленном движении направления векторов $\vec{a}$ и $\vec{\upsilon}$ …… …… .
6. Равноускоренное движение – это ……
7. Равнозамедленное движение – это ……

Задание 2.4.3. Решите задачу в тетради.

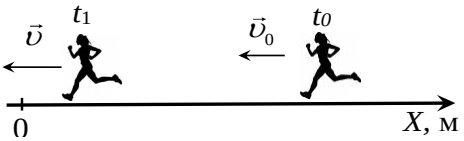
За 5 с скорость тела изменилась от 72 до 36 км/ч. Найти ускорение тела. Как двигалось тело?

Задание 2.4.4. Посмотрите на рисунки. Определите ускорение тел. Покажите на рисунках направление вектора ускорения. В каком направлении движутся тела? Какое это движение?

$|\vec{\upsilon}_0| = 2$ м/с, $|\vec{\upsilon}| = 10$ м/с;
$t_0 = 0$ с, $t = 5$ с;



$|\vec{\upsilon}_0| = 20$ м/с, $|\vec{\upsilon}| = 4$ м/с;
$t_0 = 0$ с, $t = 5$ с;



$|\vec{\upsilon}_0| = 4$ м/с, $|\vec{\upsilon}| = 8$ м/с;
$t_0 = 0$ с, $t = 4$ с.

Задание 2.4.5. Решите задачу в тетради.

С каким ускорением двигался автобус, если за 50 с после начала движения его скорость равна 15 м/с?

Задание 2.4.6. Решите задачу в тетради.

Через сколько времени остановится автомобиль, если его начальная скорость равна 20 м/с, а ускорение равно –1,25 м/с^2?

Задание 2.4.7. Решите задачу в тетради.

Уравнение движения тела: $x = -4 - 3t$ (м). Найдите начальную координату, мгновенную скорость и ускорение тела. Как движется тело?

[$x_0 = -4$ м; $\upsilon = -3$ м/с; $a = 0$ м/с^2]

Задание 2.4.8. Решите задачу в тетради.
Найдите мгновенную скорость и ускорение тела, если:

1. $x(t) = 2t$ (м);
2. $S(t) = 6t^2 + 2t$ (м);
3. $r(t) = -2t^2 + 8t$ (м);
4. $x(t) = 3t^2 + 7t$ (м);
5. $x(t) = 20t + 4t^2$ (м);
6. $S(t) = -6t^2 + 4t$ (м).

Задание 2.4.9. Решите задачу в тетради.
Пройденный путь зависит от времени по закону: $S(t) = 3t^2 + 12t$ (м). Найдите, как мгновенная скорость зависит от времени. Чему равна начальная скорость тела? Какой путь пройдёт тело за 10 с? Найдите мгновенное ускорение тела. Что можно сказать о направлениях скорости и ускорения в данном случае? Какое это движение?

[υ_0 = 12 м/с; a = 6 м/с^2; $S_{10с}$ = 420 м]

Задание 2.4.10. Решите задачу в тетради.
Пройденный путь зависит от времени по закону: $S(t) = 12t - t^2$ (м). Найдите, как мгновенная скорость зависит от времени. Найдите модуль мгновенного ускорения тела. Какой путь пройдёт тело до остановки? Как направлены скорость и ускорение? Какое это движение?

[a = –2 м/с^2; $S_к$ = 36 м]

Тема 2.5. Прямолинейное движение

Прочитайте материал к уроку.

При движении тела по прямой с течением времени изменяются координата, путь и перемещение тела.

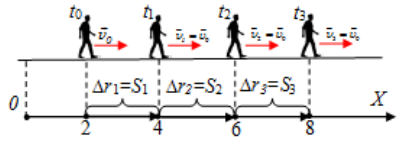
При движении тела его скорость может изменяться или оставаться постоянной. Если скорость тела постоянна по величине и направлению, то это равномерное прямолинейное движение.

Если скорость тела остается постоянной по направлению, но изменяется по величине, то это переменное движение. В зависимости от направления вектора начальной скорости ($\vec{\upsilon}_0$) и ускорения ($\vec{a}$) движение будет ускоренным (скорость тела увеличивается) или замедленным (скорость тела уменьшается). Далее будем рассматривать движение с постоянным ускорением – это равноускоренное или равнозамедленное движение.

Если направление скорости движения тела и оси совпадают, то говорят, что тело движется в положительном направлении оси. Если направление скорости движения тела и оси противоположны, то говорят, что тело движется в отрицательном направлении оси X или Y.

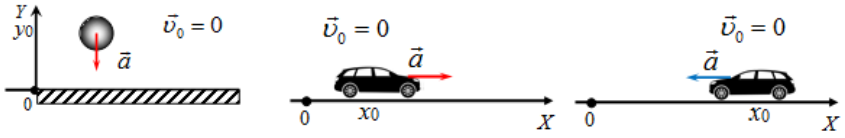
Прямолинейное движение

Тело движется с постоянной скоростью: $\upsilon = const, a = 0$.



Равномерное движение

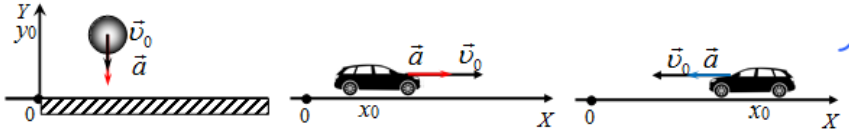
Из состояния покоя $\upsilon_0 = 0$



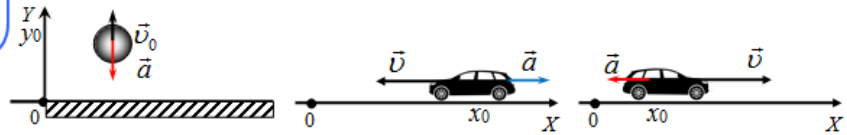
Равноускоренное движение

С начальной скоростью $\upsilon_0 \neq 0$

Направление скорости и ускорения совпадают $\vec{\upsilon}_0 \uparrow\uparrow \vec{a}$



Направление скорости и ускорения противоположны $\vec{\upsilon}_0 \uparrow\downarrow \vec{a}$

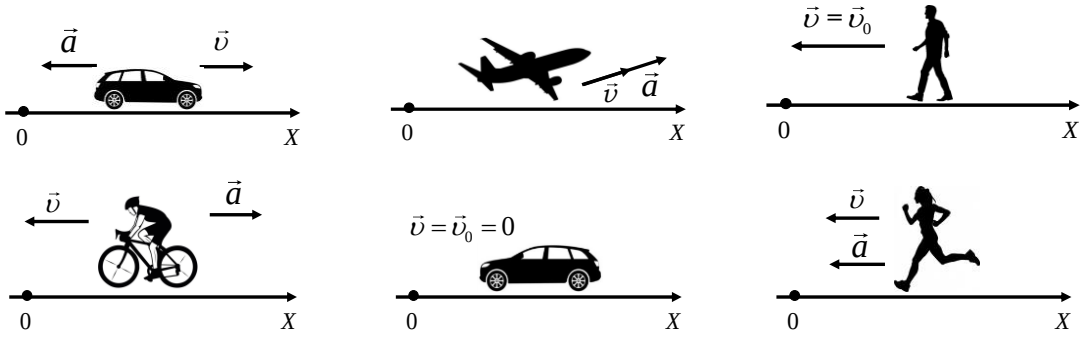


Равнозамедленное движение

Выполните задания.

Задание 2.5.1. Рассмотрите рисунки. Ответьте на вопросы:

1. В каком направлении движется тело?
2. Как движется тело: равномерно или равнопеременно? Почему?
3. При равнопеременном движении тело движется ускоренно или замедленно? Почему?



2.5.1. Прямолинейное движение с постоянной скоростью

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
уравне́ние *чего? (Р.п.)*	

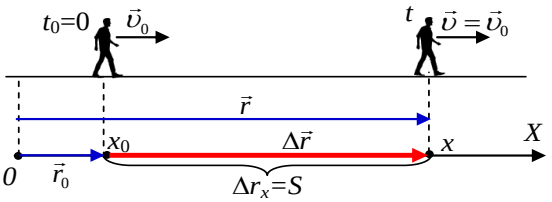
Выполните задания.

Задание 2.5.2. Составьте словосочетания.

1) уравнение (движение) ...
2) уравнение (путь) ...
3) уравнение (координата) ...
4) уравнение (перемещение) ...
5) уравнение (проекция) ...
6) уравнение (проекция) (радиус-вектор) ...
7) уравнение (проекция) (скорость) ...

Прочитайте материал к уроку.

Равномерное движение – это движение с постоянной по величине скоростью. Если направление скорости тела постоянно, то траекторией является прямая. Движение тела с постоянной по модулю и направлению скоростью является равномерным и прямолинейным движением. Тогда ускорение тела равно нулю ($\vec{a} = 0$). Рассмотрите рисунок.



Человек движется в положительном направлении оси *OX*. В начальный момент времени t_0 скорость человека равна υ_0, а координата x_0. Положение тела задаётся радиус-вектором $\vec{r}_0$. К моменту времени t человек переместился в координату x и двигался со скоростью υ. Положение тела задаётся радиус-вектором $\vec{r}$.

Мы знаем, что $\vec{\upsilon}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{\Delta\vec{r}}{t-t_0}=\frac{\Delta\vec{r}}{t}$, поэтому $\Delta\vec{r}=\vec{\upsilon}_0 t$. Так как $\Delta\vec{r}=\vec{r}-\vec{r}_0$, то

$$\boxed{\vec{r}=\vec{r}_0+\vec{\upsilon}_0 t}.$$

При прямолинейном движении тело движется вдоль одной оси. Можно найти проекции радиус-векторов на ось и записать уравнения для координаты в общем виде:

$$\boxed{x=x_0+\upsilon_{0x}t}.$$

Путь, который пройдёт тело за время Δt, равен:

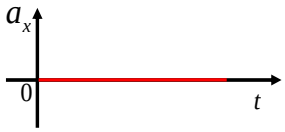
$$\boxed{S=|x-x_0|=|\upsilon_{0x}t|}.$$

ЗАПОМНИТЕ!

Уравнения равномерного прямолинейного движения:

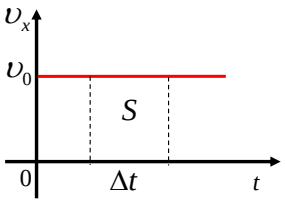
1. **Скорость – постоянная величина:** $\vec{\upsilon}=\text{const}$.
2. **Ускорение равно нулю:** $\vec{a}=0$.
3. **Уравнение перемещения:** $\Delta\vec{r}=\vec{\upsilon}_0 t$.
4. **Уравнение радиус-вектора:** $\vec{r}=\vec{r}_0+\vec{\upsilon}_0 t$.
5. **Уравнение пути:** $S=|\upsilon_{0x}t|$.
6. **Уравнение координаты**: $x=x_0+\upsilon_{0x}t$.

Представим равномерное движение в графическом виде. Чтобы построить графики, рассмотрим, как кинематические характеристики зависят от времени.

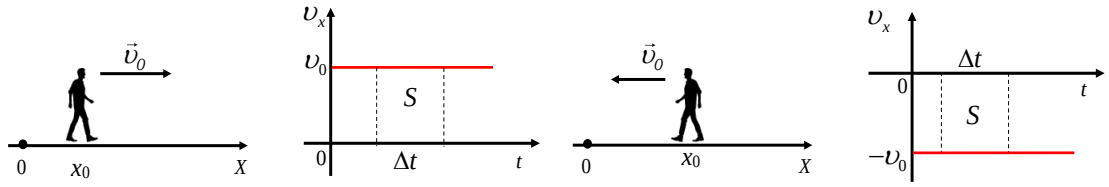


Проекция ускорения тела равна нулю ($\vec{a}=0$), поэтому графиком является прямая линия, которая совпадает с осью времени.

Скорость $\upsilon_x=\text{const}$. Графиком зависимости $\upsilon_x=\upsilon(t)$ является прямая, параллельная оси времени. Знак скорости $\upsilon_{0x}=\upsilon_0>0$ или $\upsilon_{0x}=\upsilon_0<0$ определяется направлением движения человека относительно выбранной оси.



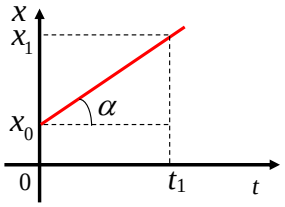
Выберем произвольно ось. Например, человек движется в положительном направлении оси *OX*, то $\upsilon_0 > 0$. Если человек движется в отрицательном направлении оси *OX*, то $\upsilon_0 < 0$.



Движение в положительном направлении оси *OX*

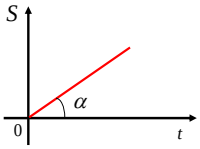
Движение в отрицательном направлении оси *OX*

На рисунках отмечен путь, который пройдёт тело за время Δ*t*, – это прямоугольник со сторонами Δ*t* и $|\upsilon_0|$.



Уравнение координаты $x = x_0 + \upsilon_{0x} t$ является линейной зависимостью. Из наклона прямой можно определить скорость тела, то есть $tg\alpha = \dfrac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} = +\upsilon_0$. Например, для $x = x_0 + \upsilon_0 t$ график представлен на рисунке.

Путь – это скалярная физическая величина, которая равна $S = |\upsilon_{0x} t|$. Зависимость $S_x = S_x(t)$ является линейной. Путь – всегда положительная величина, которая начинается с нуля.



Пример. Две машины начинают двигаться одновременно и равномерно по оси *OX* навстречу друг другу. Первая машина движется из начала координат со скоростью 10 м/с. Вторая машина движется со скоростью 5 м/с из начальной координаты 30 м. Напишите уравнения проекции скорости, координаты и пути от времени движения. Через сколько времени машины встретятся? Найдите координату встречи. Какой путь пройдёт каждая машина до встречи? Постройте графики $\upsilon_x(t)$, $x(t)$ и $S(t)$.

Дано:

$x_{01} = 0$ м

$x_{02} = 30$ м

$|\vec{\upsilon}_{01}| = 10$ м/с

$|\vec{\upsilon}_{02}| = 5$ м/с

Найти:

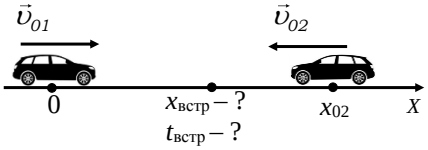
$\upsilon_{01x} - ?$ $\upsilon_{02x} - ?$

$x_1 - ?$ $x_2 - ?$

$S_1 - ?$ $S_2 - ?$

$x_{встр} - ?$ $t_{встр} - ?$

Решение:



Первая машина движется в положительном направлении оси *OX*. Проекция скорости на ось *OX* равна:

$$\upsilon_{01x} = \upsilon_{01} = 10 \text{ м/с}.$$

Запишем уравнение координаты для первой машины:

$$x_1 = x_{01} + \upsilon_{01} t = 0 + 10t = 10t.$$

Путь, пройденный первой машиной за время движения, равен:

$$S_1 = |\upsilon_{01} t| = |10t| = 10t.$$

Вторая машина движется в отрицательном направлении оси *OX*. Проекция скорости на ось *OX* равна: $\upsilon_{02x} = -\upsilon_{02} = -5$ м/с.

Запишем уравнение координаты для второй машины: $x_2 = x_{02} - \upsilon_{02}t = 30 - 5t$.

Путь, пройденный второй машиной за время движения, равен: $S_2 = |\upsilon_{02}t| = |-5t| = 5t$.

В момент времени ($t_{встр}$), когда две машины встретятся, координаты машин будут равны: $x_1 = x_2 = x_{встр}$. Решим уравнения:

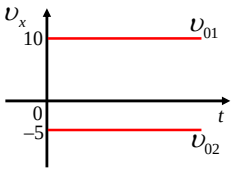
$$10t = 30 - 5t;$$
$$15t = 30;$$
$$t = \frac{30}{15};$$
$$t_{встр} = 2 \text{ с}.$$

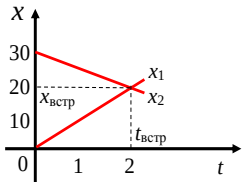
Зная время, через которое два тела встретятся, найдём координату встречи ($x_{встр}$). Подставим полученное значение времени движения ($t_{встр}$) в уравнение координаты для первой машины (x_1) или в уравнение координаты второй машины (x_2) и найдём координату встречи: $x_{встр} = 10t_{встр} = 10 \cdot 2 = 20$ м.

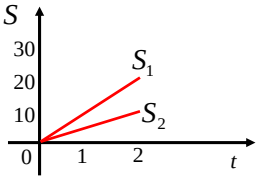
Найдём путь, пройденный первой машиной: $S_1 = |\upsilon_{01}t| = |10t| = |10 \cdot 2| = 20$ м.

Найдём путь, пройденный второй машиной: $S_2 = |\upsilon_{02}t| = |-5 \cdot 2| = 10$ м.

Построим графики $\upsilon_x(t)$, $x(t)$ и $S(t)$.







Ответ: $\upsilon_{01x} = 10$ м/с; $\upsilon_{02x} = -5$ м/с; $x_1 = 10t$; $x_2 = 30 - 5t$; $S_1 = 20$ м; $S_2 = 10$ м; $t_{встр} = 2$ с; $x_{встр} = 20$ м.

Выполните задания.

Задание 2.5.3. Найдите соответствие.

График проекции скорости – это …	… прямая наклонная линия, которая начинается в точке x_0.
График проекции ускорения – это …	… прямая линия, параллельная оси времени.
График координаты – это …	… прямая наклонная линия, которая начинается в точке 0.
График пути – это …	… прямая линия, которая совпадает с осью времени.

Задание 2.5.4. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Тело движется равномерно со скоростью 2 м/с в положительном направлении оси *OX*. Начальная координата тела равна нулю. Напишите уравнения проекции скорости, координаты и пути тела от времени движения. Найдите координату тела через 10 с после начала движения. Найдите путь, который пройдёт тело за 15 с движения.

[$x(10) = 20$ м; $S(15) = 30$ м]

Задание 2.5.5. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Тело движется равномерно в отрицательном направлении оси *OX*. Начальная координата тела 20 м, начальная скорость тела 5 м/с. Напишите уравнения проекции скорости, координаты и пути тела от времени движения. Чему равна координата тела в момент времени 25 с? Какой путь пройдёт тело за 25 с?

[$x(25) = -105$ м; $S(25) = 125$ м]

Задание 2.5.6. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Два тела начинают двигаться одновременно и равномерно по оси *OX* в положительном направлении. Начальная координата первого тела равна нулю, скорость первого тела 30 м/с. Начальная координата второго тела равна 10 м, скорость второго тела 10 м/с. Напишите уравнения координат обоих тел. Через сколько времени первое тело догонит второе? Найдите координату в этот момент времени. Какой путь проходит каждое тело за это время?

[$t_{\text{встр}} = 0,5$ с; $x_{\text{встр}} = 15$ м; $S_1(t_{\text{встр}}) = 15$ м; $S_2(t_{\text{встр}}) = 5$ м]

Задание 2.5.7. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Уравнение координаты тела имеет вид $x = -10 + 2t$ (м). Найдите координату тела в начальный момент времени. С какой скоростью и в каком направлении движется тело? Через сколько времени после начала движения координата тела будет равна 50 м?

[$t_{50\text{м}} = 30$ с]

Задание 2.5.8. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Даны уравнения координаты нескольких тел относительно одной системы отсчёта: $x_1 = 3t$ (м); $x_2 = -8t$ (м); $x_3 = 5$ (м); $x_4 = -4 + 6t$ (м); $x_5 = 9 - 2t$ (м). Определите характер движения тел. Напишите уравнения проекции скорости и начальные координаты тел. Какое из тел пройдёт больший путь за 20 с движения?

Задание 2.5.9. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Даны уравнения движения тел: $x_1 = -4t$; $x_2 = 2t$; $x_3 = 8 - 3t$; $x_4 = -3 + 5t$; $x_5 = -2 - 4t$. Постройте графики зависимости $\upsilon_x(t)$ и $x(t)$.

Задание 2.5.10. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Два тела движутся равномерно навстречу друг другу. Первое тело имеет скорость 3 м/с, второе тело имеет скорость 2 м/с. В начальный момент времени расстояние между телами 150 м. Найдите координату встречи, время встречи и путь каждого тела до встречи. Постройте графики $x(t)$ и $S(t)$.

[$t_{\text{встр}} = 30$ с; $x_{\text{встр}} = 90$ м; $S_1(t_{\text{встр}}) = 90$ м; $S_2(t_{\text{встр}}) = 90$ м]

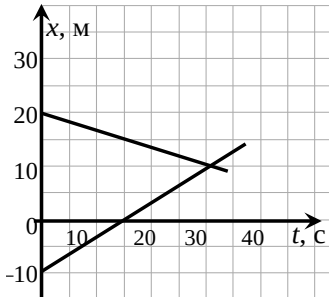
Задание 2.5.11. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Два тела начинают двигаться одновременно и равномерно по оси *OX* в положительном направлении. Начальная координата первого тела равна нулю, скорость 3 м/с. Начальная координата второго тела равна 10 м, скорость 1 м/с. Напишите уравнение координат обоих тел. Через сколько времени первое тело догонит второе? Найдите координату в этот момент времени. Какой путь пройдёт каждое тело за это время? Постройте графики $\upsilon_x(t)$, $x(t)$ и $S(t)$.

$[\,t_{встр} = 5\text{ с};\ x_{встр} = 15\text{ м};\ S_1(t_{встр}) = 15\text{ м};\ S_2(t_{встр}) = 5\text{ м}\,]$

Задание 2.5.12. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Два тела начинают двигаться одновременно и равномерно по оси *OX* навстречу друг другу. Первое тело движется из начала координат со скоростью 2 м/с. Второе тело движется со скоростью 5 м/с из начальной координаты 7 м. Напишите уравнения координат для этих тел. Найдите время и координату места встречи. Какой путь пройдет каждое тело до встречи? Постройте графики $\upsilon_x(t)$, $x(t)$ и $S(t)$.

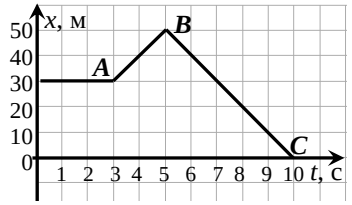
$[\,t_{встр} = 0{,}1\text{ с};\ x_{встр} = 2\text{ м};\ S_1(t_{встр}) = 2\text{ м};\ S_2(t_{встр}) = 5\text{ м}\,]$

Задание 2.5.13. Решите задачу в тетради.
Дан график зависимости $x(t)$ двух тел. Найдите начальную координату каждого тела и проекцию скоростей тел. Найдите путь, который прошло каждое тело до встречи. Постройте графики $\upsilon_x(t)$ и $S(t)$. Найдите координату и время встречи.



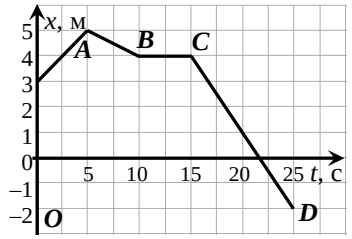
Задание 2.5.14. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.

Дан график зависимости $x(t)$. Найдите начальную координату тела и проекцию скорости тела. Найдите путь, который прошло тело. Постройте графики $\upsilon_x(t)$ и $S(t)$.



Задание 2.5.15. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.

Дан график зависимости $x(t)$. Найдите начальную координату тела и проекцию скорости тела. Найдите путь, который прошло тело за 25 с. Постройте графики $\upsilon_x(t)$ и $S(t)$.



2.5.2. Прямолинейное движение с постоянным ускорением

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

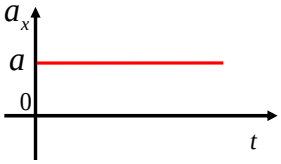
Новые слова и словосочетания	
равноперемéнный, равноперемéнно	покóй
равноускóренный, равноускóренно	квадрáт врéмени
равнозамéдленный, равнозамéдленно	квадратúчная завúсимость

Прочитайте материал к уроку.

Рассмотрим движение тела, при котором изменение скорости тела остается постоянным ($\vec{a} = \text{const}$). **Прямолинейное движение тела с постоянным ускорением – это равнопеременное движение.** Если скорость тела увеличивается, то движение является равноускоренным. При замедленном движении скорость тела уменьшается.

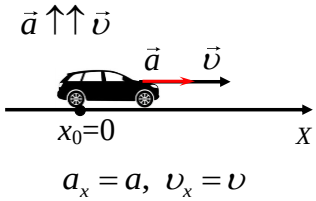
Движение тела из состояния покоя

Рассмотрим прямолинейное движение из состояния покоя. Покой – это момент времени, когда скорость тела равна нулю: $\upsilon_0 = 0$. Пусть скорость тела в единицу времени изменяется на постоянную величину. При таком движении скорость тела будет увеличиваться и движение тела в любом направлении движения будет равноускоренным. Зная начальную скорость тела и ускорение, можно найти скорость тела в следующий момент времени.

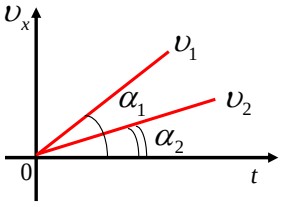


Пусть автомобиль движется из начала координат ($x_0 = 0$) из состояния покоя в положительном направлении оси OX с ускорением $\vec{a}$, то есть $a = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t - t_0} = \frac{\upsilon}{t}$. Графиком ускорения является прямая параллельная оси времени.

Тогда его скорость через время t будет равна $\upsilon_x = a_x t$. Скорость тела при равноускоренном движении зависит линейно от времени.

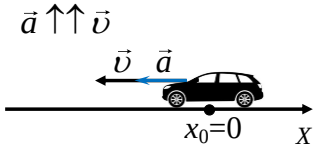


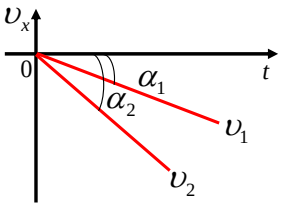
$a_x = a,\ \upsilon_x = \upsilon$



Из графика можно найти ускорение движения тела a = tgα, координату тела и его перемещение. Если даны графики $\upsilon_x = \upsilon_x(t)$ для двух тел, то можно сравнить ускорения тел. Чем больше угол наклона, тем выше ускорение тела. В нашем примере $a_1 > a_2$.

Если тело движется в противоположном направлении оси OX, то скорость тела также будет увеличиваться по модулю, уравнение: $\upsilon_x = -at$. Рассмотрите рисунки.

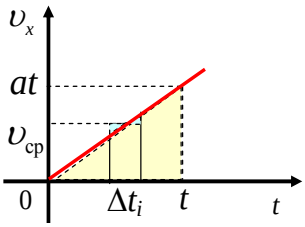




$a_x = -a,\ \upsilon_x = -\upsilon$

Перемещение тела за время движения *t* равно сумме перемещений за бесконечно малые промежутки времени Δt_i :

$$\Delta\vec{r} = \sum \Delta\vec{r}_i = \Delta\vec{r}_1 + \Delta\vec{r}_2 + ... + \Delta\vec{r}_i = \vec{\upsilon}_{cp1}\Delta t_1 + \vec{\upsilon}_{cp2}\Delta t_2 + ... + \vec{\upsilon}_{cpi}\Delta t_i \ .$$

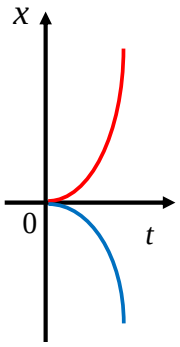


Перемещение за промежуток времени Δt равно площади под прямой – это треугольник со сторонами *at* и *t*:

$$\Delta r = \frac{at^2}{2} \Rightarrow r - r_0 = \frac{at^2}{2} \ .$$

$\Rightarrow$ = [следовательно]

В векторном виде: $\vec{r} = \vec{r}_0 + \frac{\vec{a}t^2}{2}$.



Так как движение происходит вдоль оси *OX*, то $\Delta r = x - x_0 \Rightarrow$

$$x = x_0 + \frac{at^2}{2} \ .$$

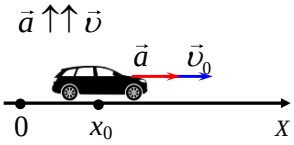
Перемещение и координата имеют параболическую зависимость от времени. Ветвь параболы направлена вверх при $a > 0$. Если тело движется в противоположную сторону оси *OX*, то $x = -\frac{at^2}{2}$ и ветвь параболы будут направлена вниз.

Так как движение происходит вдоль оси OX, то графики для координаты, перемещения и пути будут одинаковыми. Путь всегда положительная величина.

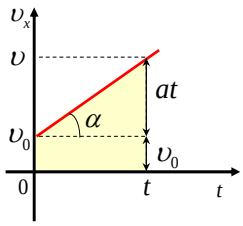
Движение тела по прямой из состояния покоя – это всегда равноускоренное прямолинейное движение. Движение, при котором ускорение тела одинаково направлено со скоростью и постоянно по модулю.

Движение тела с начальной скоростью

Равноускоренное движение.



$a_x = a,\ \upsilon_x = \upsilon$



Пусть движется тело по оси OX из точки с координатой x_0 со скоростью υ_0. Проекции скорости тела в момент времени t равна: $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t = \upsilon_0 + at$. Для положительного направления движения график изображён на рисунке.

Если тело движется в противоположном направлении оси *OX*, то $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t = -\upsilon_0 - at$.

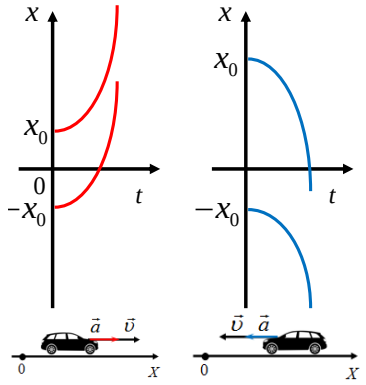
Перемещение за промежуток времени $\Delta t = t - t_0$ равно площади под прямой –это трапеция: $S_{\text{трапеции}} = S_{\text{треугольника}} + S_{\text{прямоугольника}}$. Тогда $S_{\text{трапеции}} = \Delta r = \upsilon_0 t + \frac{at \cdot t}{2}$. В векторном виде перемещение равно:

$$\Delta\vec{r} = \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

Тогда $\vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \Rightarrow \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$.

Тогда уравнение координаты для движения тела в направлении оси *OX* имеет вид:

$$\boxed{x = x_0 + \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}}.$$

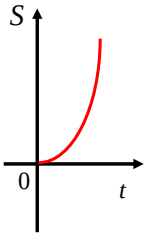


При движении в противоположном направлении знаки начальной скорости и ускорения меняются на противоположные. Знак координаты $\pm x_0$ не связан со знаками начальной скорости и ускорения**.** В общем случае для равноускоренного движения в любом направлении знаки начальной скорости и ускорения должны совпадать:

$\boxed{x = \pm x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}}$ или $\boxed{x = \pm x_0 \pm \upsilon_0 t \pm \frac{at^2}{2}}$.

Рассмотрите график зависимости $x = x(t)$.

Путь при равноускоренном движении равен модулю проекции вектора перемещения.



$$\boxed{S = \left|\upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}\right| = \left|\pm\upsilon_0 t \pm \frac{at^2}{2}\right|}.$$

Графиком пути является парабола, которая всегда начинается в начале координат. При $t_0 = 0$ путь всегда равен нулю. Путь – это скалярная физическая величина, которая всегда больше нуля.

В обобщённом виде кинематические уравнения движения тела для равноускоренного движения:

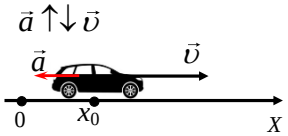
В векторном виде	В скалярном виде	
$\vec{a} = \text{const}$	$a_x = \text{const}$	$a_x = \pm a$
$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}t$	$\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$	$\upsilon_x = \pm\upsilon_0 \pm at$
$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$	$r_x = r_{0x} + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$r_x = \pm r_0 \pm \upsilon_0 t \pm \frac{a_x t^2}{2}$
	$x = \pm x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$x = \pm x_0 + \upsilon_0 t + \frac{a_x t^2}{2}$
	$S = \left\|\upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}\right\|$	$S = \left\|\upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}\right\|$

ЗАПОМНИТЕ!

В кинематических уравнениях в скалярном виде знаки скорости и ускорения одинаковые. Знак «+» или «–» показывает направление скорости и ускорения по отношению к выбранному направлению оси *OX*.

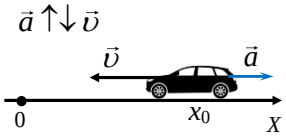
Равнозамедленное движение. Равнозамедленное прямолинейное движение – это прямолинейное движение, при котором ускорение тела направлено противоположно скорости и постоянно по модулю: $|\vec{a}| = \text{const}$. Рассмотрите рисунок.

Движение тела в положительном направлении оси *OX*



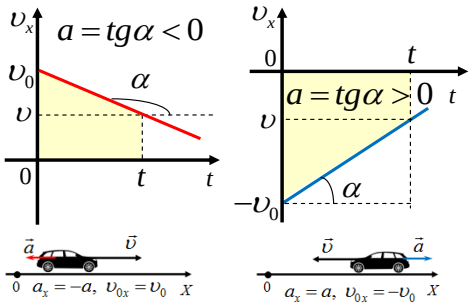
$a_x = -a,\ \upsilon_{0x} = \upsilon_0$

Движение тела в отрицательном направлении оси *OX*



$a_x = a,\ \upsilon_{0x} = -\upsilon_0$

Пусть тело движется в положительном направлении оси OX из точки x_0 с начальной скоростью υ_0. Найдём проекцию начальной скорости и проекцию ускорения на ось OX: $\upsilon_{0x} = \upsilon_0$, $a_x = -a$. К моменту времени t скорость тела равна υ $(\upsilon < \upsilon_0)$, тогда $a = \dfrac{\upsilon - \upsilon_0}{t} \Rightarrow \upsilon - \upsilon_0 = -at \Rightarrow \upsilon = \upsilon_0 - at.$ Скорость тела при равнозамедленном движении уменьшается с течением времени. Графиком зависимости $\upsilon_x = \upsilon(t)$ является прямая. Рассмотрите рисунки.



На рисунке представлены графики для тела, которое движется в положительном и отрицательном направлениях оси OX. Далее дан вывод уравнения перемещения только для движения в положительном направлении. Для противоположного направления сделайте вывод самостоятельно.

Перемещение за промежуток времени $\Delta t = t - t_0$ равно площади под прямой:

$$S_{\text{трапеции}} = S_{\text{треугольника}} + S_{\text{прямоугольника}}$$

$$\Delta r = \frac{at \cdot t}{2} + (\upsilon_0 - at)t = \frac{at^2}{2} + \upsilon_0 t - at^2 = \upsilon_0 t - \frac{at^2}{2}\ .$$

Радиус-вектор равен:

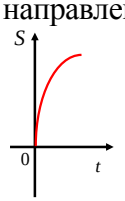
$$r - r_0 = \upsilon_0 t - \frac{at^2}{2}$$

$$\boxed{r = r_0 + \upsilon_0 t - \frac{at^2}{2}.}$$

Так как движение направлено вдоль оси *OX*, то уравнение координаты

$$\boxed{x = x_0 + \upsilon_0 t - \frac{at^2}{2}.}$$

Рассмотрите рисунок. Из уравнения следует, что $a<0$, поэтому ветвь параболы направлена вниз.



При равнозамедленном движении путь равен модулю проекции вектора перемещения:

$$S=\left|x-x_0\right|=\left|\upsilon_{0x}t+\frac{a_xt^2}{2}\right|=\left|\pm\upsilon_{0x}t\mp\frac{a_xt^2}{2}\right|.$$

ЗАПОМНИТЕ!

Кинематические уравнения равнопеременного прямолинейного движения		
В векторном виде:	В скалярном виде:	
$\vec{a}=\text{const}$	$a_x=\text{const}$	$a_x=\pm a$
$\vec{\upsilon}=\vec{\upsilon}_0+\vec{a}t$	$\upsilon_x=\upsilon_{0x}+a_xt$	$\upsilon_x=\pm\upsilon_0\mp at$
$\Delta\vec{r}=\vec{\upsilon}_0t+\frac{\vec{a}t^2}{2}$	$\left\|\Delta\vec{r}\right\|=\left\|\upsilon_{0x}t+\frac{a_xt^2}{2}\right\|$	$\left\|\Delta\vec{r}\right\|=\left\|\pm\upsilon_0t\mp\frac{at^2}{2}\right\|$
$\vec{r}=\vec{r}_0+\vec{\upsilon}_0t+\frac{\vec{a}t^2}{2}$	$r_x=r_{0x}+\upsilon_{0x}t+\frac{a_xt^2}{2}$	$r_x=\pm r_0\pm\upsilon_0t\mp\frac{a_xt^2}{2}$
	$x=\pm x_0+\upsilon_{0x}t+\frac{a_xt^2}{2}$	$x=\pm x_0\pm\upsilon_{0x}t\mp\frac{a_xt^2}{2}$
	$S=\left\|\upsilon_{0x}t+\frac{a_xt^2}{2}\right\|$	$S=\left\|\pm\upsilon_{0x}t\mp\frac{a_xt^2}{2}\right\|$

ЗАПОМНИТЕ!

В кинематических уравнениях в скалярном виде знаки скорости и ускорения противоположные. Знак «+» или «–» показывает направление скорости и ускорения по отношению к выбранному направлению оси *OX*.

Пример 1. Тело движется равнозамедленно из начала координат в положительном направлении оси *OX*. Начальная скорость тела 30 м/с. Ускорение тела 6 м/с^2. Напишите уравнения проекции ускорения, проекции скорости, координаты и пути тела от времени. Через сколько времени тело остановится? Чему равна координата тела в этот момент времени? Какой путь пройдёт тело до остановки?

Дано:

$\vec{\upsilon}\uparrow\downarrow\vec{a}$

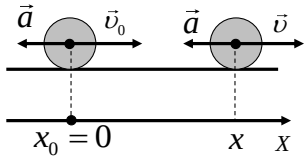
$x_0=0$

υ_0 = 30 м/с

a = 6 м/с^2

$\upsilon(t_1)=0$

Решение:



Тело движется равнозамедленно в положительном направлении оси *OX*. Уравнение проекции ускорения:

$$a_x=a\cos\alpha,\ a_x=6\cos180^\circ=-6\ \text{м/с}^2.$$

Уравнение проекции скорости:

$$\upsilon_x=\upsilon_{0x}+a_xt,\ \ \upsilon_x=30-6t.$$

Уравнение координаты:

$$x=x_0+\upsilon_{0x}t+\frac{a_xt^2}{2}=0+30t-\frac{6t^2}{2}=30t-3t^2.$$

Уравнение пути: $S = \left|\upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}\right| = \left|30t - \frac{6t^2}{2}\right| = \left|30t - 3t^2\right|$.

Когда тело остановится, скорость тела будет равна нулю, поэтому:

$$\upsilon = 30 - 6t_1;$$
$$0 = 30 - 6t_1;$$
$$6t_1 = 30;$$
$$t_1 = 5\,\text{с}.$$

В момент времени $t_1 = 5$ координата тела равна: $x(5) = 30 \cdot 5 - 3 \cdot 5^2 = 75\,\text{м}$. В момент времени $t_1 = 5$ тело пройдёт путь, равный: $S(5) = \left|30 \cdot 5 - 3 \cdot 5^2\right| = 75$ м.

Ответ: $a_x = -6$, $\upsilon_x = 30 - 6t$, $x(t) = 30t - 3t^2$, $S(t) = \left|30t - 3t^2\right|$, $t_1 = 5\,\text{с}$, $x(t_1) = 75\,\text{м}$, $S(t_1) = 75$ м.

Выполните задания.

Задание 2.5.16. Найдите соответствие.

График проекции скорости равнопеременного движения – это …	… парабола, которая начинается в точке x_0.
График проекции ускорения равнопеременного движения – это…	… это парабола, которая всегда начинается в начале координат.
График координаты равнопеременного движения – это …	… прямая наклонная линия, которая начинается в точке υ_0.
График пути равнопеременного движения – это …	… прямая линия, параллельная оси времени.

Задание 2.5.17. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Тело движется равнозамедленно с ускорением 3 м/с^2 в положительном направлении оси *OX*. Начальная скорость тела равна 3 м/с. Начальная координата тела равна 3 м. Напишите уравнения проекции ускорения, проекции скорости, координаты и пути тела от времени.

Задание 2.5.18. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Автомобиль движется равнозамедленно в отрицательном направлении оси *OX*. Начальная координата автомобиля100 м, начальная скорость тела 15 м/с, ускорение равно 3 м/с^2. Через сколько времени тело остановится? Чему равна координата тела в этот момент времени? Какой путь пройдёт тело до остановки?

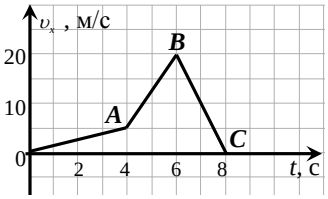
$[\,t_{\text{ост}} = 5\,\text{с};\ x_{\text{ост}} = 62{,}5\,\text{м};\ S = 37{,}5\,\text{м}\,]$

Задание 2.5.19. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Автомобиль движется равнозамедленно в отрицательном направлении оси *OX* из точки с координатой 10 м со скоростью 10 м/с. Ускорение тела 2 м/с^2. Напишите уравнения проекции ускорения, проекции скорости, координаты и пути тела от времени. Постройте графики зависимости $\upsilon_x(t)$, $a_x(t)$, $S(t)$ и $x(t)$.

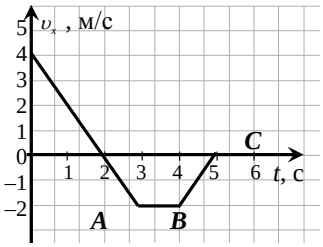
Задание 2.5.20. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Два тела движутся навстречу друг другу. Первое тело движется равнозамедленно из начала координат с начальной скоростью 16 м/с и с ускорением 2 м/с^2. Второе тело движется равноускоренно из точки с координатой –8 м без начальной скорости с ускорением 6 м/с^2. В какой момент времени тела встретятся? Чему равна координата встречи? Чему равна скорость каждого тела в момент встречи? Какой путь пройдёт каждое тело до встречи?

Задание 2.5.21. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Два тела движутся равноускоренно в положительном направлении оси *OX*. Первое тело в начальный момент времени находилось в точке с координатой 5 м и начало движение с ускорением 6 м/с^2. Второе тело движется из точки с координатой 15 м с начальной скоростью 5 м/с и с ускорением 2 м/с^2. В какой момент времени первое тело догонит второе? Чему равна координата встречи? Какой путь пройдёт каждое тело до встречи? Чему равна скорость каждого тела в момент встречи?

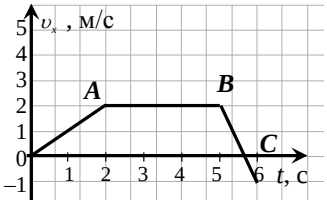
Задание 2.5.22. Решите задачу в тетради.
Дан график зависимости $\upsilon_x(t)$. Напишите уравнения координаты и пути тела, проекции ускорения и проекции скорости от времени. Постройте графики зависимостей $S(t)$, $x(t)$, $a_x(t)$, если начальная координата тела равна нулю.



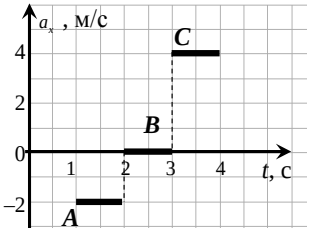
Задание 2.5.23. Решите задачу в тетради.
Дан график зависимости $\upsilon_x(t)$. Напишите уравнения координаты и пути тела, проекции ускорения и проекции скорости от времени. Постройте графики зависимостей $S(t)$ и $x(t)$, если начальная координата тела равна нулю.



Задание 2.5.24. Решите задачу в тетради.
Дан график зависимости $\upsilon_x(t)$. Напишите уравнения координаты и пути тела, проекции ускорения и проекции скорости от времени. Постройте графики зависимостей $a_x(t)$, $S(t)$ и $x(t)$, если x_0 = 1 м.



Задание 2.5.25. Решите задачу в тетради.
Дан график зависимости $a_x(t)$. Напишите уравнения проекции ускорения, проекции скорости, координаты и пути тела от времени. Постройте графики зависимостей $\upsilon_x(t)$, $S(t)$ и $x(t)$. Начальная скорость точки υ_0 = 5 м/с (при t_0 = 1, x_0 = 1 м)



2.5.3. Вертикальное равнопеременное движение тела в поле силы тяжести

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
свобо́дный, свобо́дно	ва́куум
па́дать – упа́сть	во́здух
он упал, она упала, оно упало, они упали	сопротивле́ние
паде́ние	по́ле
вниз	си́ла
	тя́жесть

Выполните задания.

Задание 2.5.26. Составьте словосочетания.

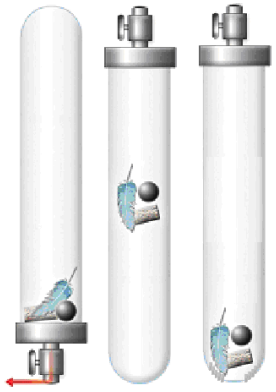
1) (свободный) падение ...
2) падение (тело) ...
3) (свободный) падение (тело) ...
4) ускорение (свободный) (падение) (тело) ...
5) вектор (ускорение) (свободный) (падение) ...
6) модуль вектора (ускорение) (свободный) (падение) ...
7) высота (падение) (тело) ...
8) время (падение) (тело) ...
9) момент (падение) ...
10) скорость (падение) (тело) ...
11) вектор (скорость) (падение) ...
12) проекция (скорость) (падение) ...

Прочитайте материал к уроку.

Примером равнопеременного движения является свободное падение тел. **Падение – это движение тела вниз к Земле. Свободное падение тела – это движение тела в вакууме под действием силы тяжести (сопротивление воздуха не учитывается).** Вакуум – это пространство, в котором нет воздуха.

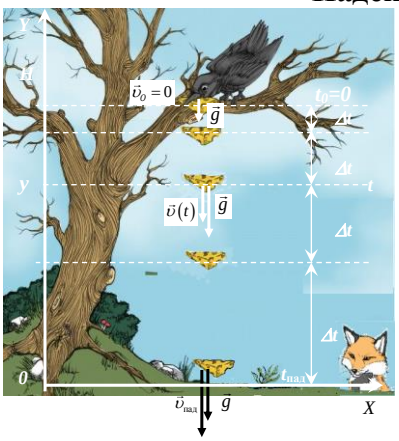
Опыты Г. Галилея и других учёных показали, что при отсутствие сил сопротивления все тела разной массы падают на Землю с одинаковым ускорением, которое называется **ускорением свободного падения**. Ускорение свободного падения обозначают буквой g. Вектор ускорения свободного падения направлен по радиусу к центру Земли. Модуль ускорения свободного падения равен $g \approx 9{,}81$ м/с^2.

В воздухе на тела, которые падают, действуют силы сопротивления. Чем выше скорость движения, тем больше силы сопротивления. При малых скоростях движения тела силы сопротивления не учитывают и далее при решении задач учитывать не будем.



$t_0 = 0$ $t_{\text{падения}} = t_{\text{пад}}$

Падение тела без начальной скорости



Рассмотрим падение тела без начальной скорости ($\upsilon_0 = 0$) с высоты H. В момент падения на Землю ($t_{\text{падения}} = t_{\text{пад}}$) тело будет иметь скорость, которая называется **скоростью падения** ($\vec{\upsilon}_{\text{падения}} = \vec{\upsilon}_{\text{пад}}$). Вектор скорости падения направлен к центру Земли. Время движения тела от начального момента $t_0 = 0$ до момента падения на Землю называется **временем падения** тела ($t_{\text{пад}}$). Найдём время падения и скорость падения тела.

Направления скорости и ускорения свободного падения совпадают, поэтому это равноускоренное движение. Запишем кинематические уравнения равноускоренного движения в скалярном виде.

Найдём координату, проекции начальной скорости и ускорения на ось OY: $a_y = g\cos 180° = -g$, $\upsilon_{0y} = 0$, $y_0 = H$. Тогда уравнения будут иметь вид:

$$a_y(t) = -g \quad \text{– уравнение проекции ускорения;}$$

$$\upsilon_y(t) = \upsilon_{0y} - a_y t = 0 - gt = -gt \quad \text{– уравнение проекции скорости;}$$

$$y(t) = y_0 + \upsilon_{0y} t - \frac{a_y t^2}{2} = H - \frac{gt^2}{2} \quad \text{– уравнение координаты.}$$

В момент падения тела на Землю $t = t_{\text{пад}}$:

$$a_y(t_{\text{пад}}) = -g,$$

$$\upsilon_{\text{пад}_y} = -gt_{\text{пад}},$$

$$0 = H - \frac{gt_{\text{пад}}^2}{2},$$

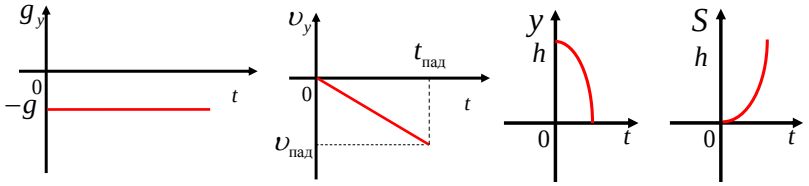
$$\boxed{t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2H}{g}}},$$

$$\boxed{\upsilon_{\text{пад}_y} = -\sqrt{2gH}}.$$

Скорость падения направлена противоположно оси *OY*. Модуль скорости падения можно найти по формуле: $|\upsilon_{пад}| = |-\sqrt{2gH}| = \sqrt{2gH}$ **.**

Если известна высота *H*, с которой тело падало, то можно найти время падения $t_{пад}$ и скорость тела в момент падения $\upsilon(t_{пад})$.

Рассмотрите графики зависимостей $a(t)$, $\upsilon(t)$, $y(t)$, $S(t)$ для данного движения. Характер зависимостей не изменился. Сравните с графиками из темы 2.5.2.

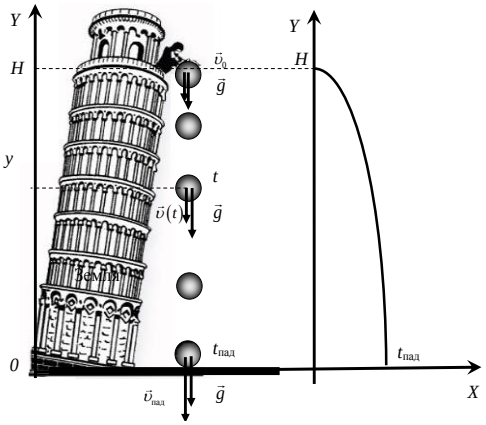


ЗАПОМНИТЕ!

Свободное падение – это равноускоренное движение без начальной скорости.
Вектор ускорения свободного падения $\vec{g}$ направлен к центру Земли.
Модуль ускорения свободного падения равен $g = 9{,}81$ м/с^2.

Падение тела с начальной скоростью

Пусть тело бросили вертикально вниз с начальной скоростью υ_0 с высоты *H*.



При падении тела направление скорости и ускорения свободного падения совпадают ($\vec{\upsilon}_0 \uparrow\uparrow \vec{g}$), поэтому это равноускоренное движение. Запишем кинематические уравнения равноускоренного движения тела:

$a_y(t) = -g$ – **уравнение проекции ускорения;**

$\upsilon_y(t) = \upsilon_y + a_y t = -\upsilon_0 - gt$ – **уравнение проекции скорости;**

$y(t) = H - \upsilon_0 t - \dfrac{gt^2}{2}$ – **уравнение координаты.**

В момент падения тела на Землю $t = t_{пад}$:

$$a_y(t_{пад}) = -g,$$

$$\upsilon_{пад_y} = -\upsilon_0 - gt_{пад},$$

$$0 = H - \upsilon_0 t_{пад} - \frac{gt_{пад}^2}{2},$$

$$t_{пад} = \frac{\upsilon_0 \pm \sqrt{\upsilon_0^2 + 2gH}}{-g},$$

$$\upsilon_{пад_y} = \pm\sqrt{\upsilon_0^2 + 2gH}.$$

Скорость падения направлена противоположно оси *OY*. Модуль скорости падения можно найти по формуле: $|\upsilon_{пад}| = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2gH}$ **.**

Выполните задания

Задание 2.5.27. Ответьте на вопросы.

1. Что такое падение?
2. Что называется свободным падением?
3. Как обозначается и чему равен модуль ускорения свободного падения?
4. Как направлен вектор ускорения свободного падения?
5. По какой формуле можно найти время падения, если тело падает без начальной скорости?
6. По какой формуле можно найти скорость падения, если тело падает без начальной скорости?

Задание 2.5.28. Вставьте пропущенные слова и словосочетания в нужной форме.

Слова: вакуум, равноускоренный, вниз, нуль, ускорение свободного падения, время падения.

1. Падение – это движение тела …… к Земле.
2. Свободное падение тела – это падение тела в …… .
3. Тело свободно падает, значит, начальная скорость тела равна ……..
4. Вектор …… тела всегда направлен вниз к центру Земли.
5. Время движения тела от начального момента до момента падения на Землю называется …… тела.
6. Падение тела вниз – это …… движение.

Задание 2.5.29. Решите задачу в тетради.

Тело свободно падает с высоты 100 м без начальной скорости. Чему равен модуль скорости падения? Сколько времени тело падало?

Задание 2.5.30. Решите задачу в тетради.

Тело свободно падало на Землю 10 с. С какой высоты упало тело? Чему равен модуль скорости падения?

$[\upsilon_{\text{пад}} = 100 \text{ м/с}; h = 500 \text{ м}]$

Задание 2.5.31. Решите задачу в тетради.

Тело свободно падает с высоты. Сколько времени падало тело, если за последние 2 с тело прошло 60 м?

$[t_{\text{пад}} = 4,06 \text{ с}]$

Задание 2.5.32. Решите задачу в тетради.

Какой путь проходит свободно падающее тело за четвёртую секунду от начала падения?

$[S = 34,4 \text{ м}]$

Задание 2.5.33. Решите задачу в тетради.

С какой начальной скоростью нужно бросить вертикально вниз тело с высоты 200 м, чтобы тело упало на Землю через 4 с?

$[\upsilon_0 = 30 \text{ м/с}]$

Задание 2.5.34. Решите задачу в тетради.
Тело бросили вертикально вниз со скоростью 30 м/с, а оно прошло путь 200 м. Чему равен модуль скорости падения тела?

$[t_{200} = 400 \text{ с}; \upsilon_{\text{пад}} = 70 \text{ м/с}]$

Задание 2.5.35. Решите задачу в тетради.
Вертолёт находится на высоте 320 м. Из вертолёта падает тело. Через сколько времени тело упадет на Землю, если: 1) вертолёт находится в состоянии покоя; 2) вертолёт движется вниз со скоростью 5 м/с; 3) вертолёт движется вверх со скоростью 5 м/с?

$[t_1 = 8 \text{ с}; t_2 = 7{,}52 \text{ с}; t_3 = 8{,}52 \text{ с}]$

2.5.4. Движение тела, брошенного вертикально вверх

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
броса́ть – бро́сить *что? (В.п.)* бро́шенный бро́шено	вертика́льно вверх поднима́ться – подня́ться подъём *чего? (Р.п.)*

Прочитайте и запомните.

Тело **бросили** вертикально вверх. = Тело **брошено** вертикально вверх.

Выполните задание.

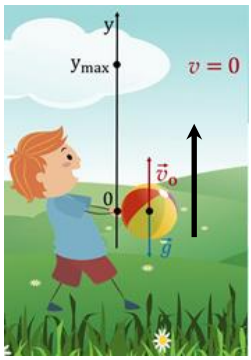
Задание 2.5.36. Составьте словосочетания.

1) подъём (тело) ...
2) время (подъём) ...
3) высота (подъём) ...

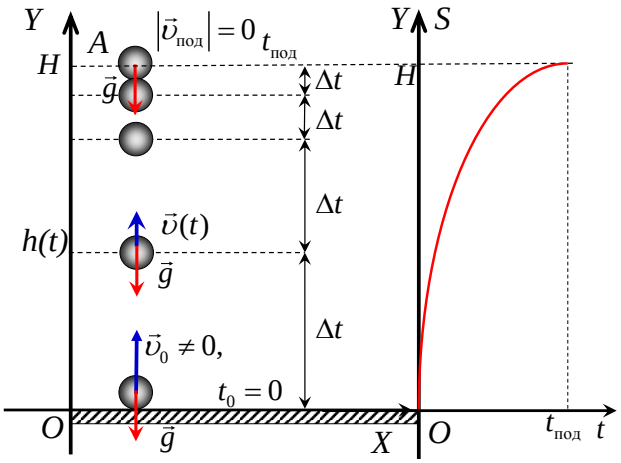
Прочитайте материал к уроку.

Движение тела, которое бросили вертикально вверх, можно разделить на две части: тело движется вверх с начальной скоростью $\vec{\upsilon}_0$ и падает вниз без начальной скорости.

Рассмотрим движение тела вверх с начальной скоростью υ_0.

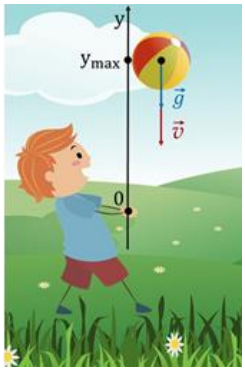


Подъём ↑

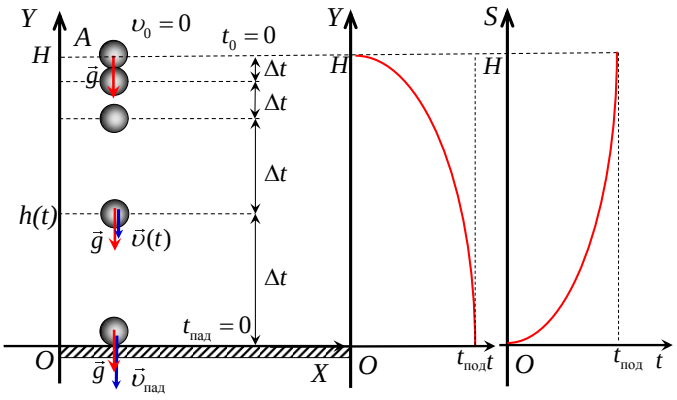


Движение тела вверх называют подъёмом. Бросить тело – это значит сообщить телу начальную скорость $\vec{v}_0$. При подъёме тела направления начальной скорости тела и ускорения свободного падения противоположны ($\vec{g} \uparrow\downarrow \vec{v}_0$), поэтому это равнозамедленное движение. При движении тела модуль скорости уменьшается. Тело поднимается на максимальную высоту H и останавливается $(v = 0)$. Высота, на которую поднимается тело (точка А), называется высотой подъёма ($y_{max} = H$). Время движения тела до максимальной высоты подъёма H – это время подъёма ($t_{подъёма} = t_{под}$).

Далее тело будет падать. Падение тела без начальной скорости рассмотрено в п. 2.5.2. Вспомним: тело падает с высоты H без начальной скорости $v_0 = 0$. Направления скорости и ускорения свободного падения совпадают, поэтому это равноускоренное движение.



Падение



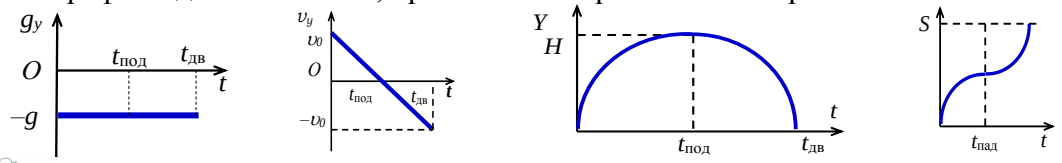
Запишем кинематические уравнения движения тела при подъёме и при падении тела:

Подъём	**Падение**
$\begin{cases} a_y(t) = -g, \\ v_y(t) = v_{0y} + a_y t = v_0 - gt, \\ y(t) = y_0 + v_{0y}t + \dfrac{a_y t^2}{2} = v_0 t - \dfrac{gt^2}{2}. \end{cases}$	$\begin{cases} a_y(t) = -g, \\ v_y(t) = v_{0y} + a_y t = v_0 + gt, \\ y(t) = y_0 + v_{0y}t + \dfrac{a_y t^2}{2} = v_0 t + \dfrac{gt^2}{2}. \end{cases}$

Сравним путь, время и скорости подъёма и падения тела при подъёме и падении тела. Формулы для падения тела возьмём из темы 2.5.2.

Подъём	**Падение**
Путь. Тело поднялось на высоту H и упало с этой высоты, тогда $S_{\text{подъёма}} = S_{\text{падения}}$.	
Время.	
Запишем кинематические уравнения для точки максимального подъема (точка А): $\begin{cases} a_y(t_{\text{под}}) = -g, \\ \upsilon_y(t_{\text{под}}) = \upsilon_{0y} + a_y t_{\text{под}} = \upsilon_0 - g t_{\text{под}} = 0, \\ y(t_{\text{под}}) = y_0 + \upsilon_{0y} t_{\text{под}} + \dfrac{a_y t_{\text{под}}^2}{2} = \upsilon_0 t - \dfrac{g t_{\text{под}}^2}{2} = H. \end{cases}$ Решим систему и найдем: $t_{\text{под}} = \dfrac{\upsilon_0}{g}$ $H = \dfrac{\upsilon_0^2}{2g} \Rightarrow\ t_{\text{под}} = \dfrac{\sqrt{2gH}}{g} = \sqrt{\dfrac{2H}{g}}$	$t_{\text{пад}} = \sqrt{\dfrac{2H}{g}}$
$t_{\text{под}} = t_{\text{пад}}$ Время подъёма равно времени падения. Время движения равно $t = t_{\text{под}} + t_{\text{пад}}$	
Начальная скорость подъёма $\upsilon_{0y} = \upsilon_0$	Скорость падения $\upsilon_{\text{пад}_y} = -\sqrt{2gH}$, подставим $H = \dfrac{\upsilon_0^2}{2g} \Rightarrow\ \upsilon_{\text{пад}_y} = -\upsilon_0$
Модуль начальной скорости подъёма равен модулю скорости падения. Знак минус показывает, что направления скоростей противоположны: $\vec{\upsilon}_{\text{пад}_y} = -\vec{\upsilon}_0$	
Графики проекции ускорения, проекции скорости и координаты – это графики равнозамедленного движения тела.	Графики проекции ускорения, проекции скорости и координаты – это графики равноускоренного движения тела.

Графики движения тела, брошенного вертикально вверх:



ЗАПОМНИТЕ!

Модуль скорости падения равен модулю начальной скорости: $|\vec{\upsilon}_{\text{пад}}| = |-\vec{\upsilon}_0|$.

Время подъёма равно времени падения: $t_{\text{пад}} = t_{\text{под}} = \dfrac{\upsilon_0}{g}$.

Выполните задания.

Задание 2.5.37. Прочитайте предложения. Отметьте правильные утверждения.

1. Подъём – это равнозамедленное движение тела вертикально вниз.
2. Если тело падает вертикально вниз, то направление вектора скорости совпадает с направлением вектора ускорения свободного падения.
3. Вектор ускорения при свободном падении всегда направлен вертикально вниз, к центру Земли.
4. Время подъёма тела до максимальной высоты будет равно времени падения тела с этой высоты до поверхности Земли.
5. Во время движения тела вверх модуль скорости увеличивается.
6. Общее время движения равно времени подъёма.

Задание 2.5.38. Решите задачу в тетради.

Тело, которое бросили вертикально вверх, упало на Землю через 8 с. С какой скоростью бросили тело? На какую высоту поднялось тело? С какой скоростью тело упало на Землю?

$[\, h = 80 \text{ м}; \upsilon_0 = 40 \text{ м/с}; \upsilon_{\text{пад}} = \upsilon_0 \,]$

Задание 2.5.39. Решите задачу в тетради.

Тело бросили вертикально вверх со скоростью 10 м/с. Чему равна скорость и на какой высоте будет находиться тело через 1 с? На какую максимальную высоту поднимется тело? (g = 9,8 м/с)

Задание 2.5.40. Решите задачу в тетради.

Тело бросили вертикально вверх со скоростью 6 м/с. На какой высоте тело будет через 0,4 с? На какой высоте тело будет через 5 с?

$[\, h_{0,4\text{с}} = 1,6 \text{ м}; h_{5\text{с}} = 0 \text{ м} \,]$

Задание 2.5.41. Решите задачу в тетради.

С высоты 8 м над поверхностью Земли начинает свободно падать тело. Одновременно с высоты 5 м бросают вертикально вверх другое тело с начальной скоростью 3 м/с. Написать уравнения координат тел и найти место их встречи. Выбрать за начало отсчёта поверхность Земли.

$[\, y_{\text{встр}} = 3 \text{ м} \,]$

Задание 2.5.42.Решите задачу в тетради.

Тело находилось на высоте 15 м над Землей. Его бросили вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какую высоту поднимется тело относительно Земли? Через какое время тело упадёт на Землю? Чему равна скорость падения?

$[\, h = 20 \text{ м}; \upsilon_{\text{пад}} = 20 \text{ м/с}; t_{\text{пад}} = 3 \text{ с} \,]$

Задание 2.5.43. Решите задачу в тетради.

Два тела бросили вертикально вверх из одной и той же точки с начальной скоростью 20 м/с с интервалом в 1 с. Найдите координату места встречи. Через сколько секунд тела встретятся?

$[\, t_{\text{встр}} = 2,5 \text{ с}; y_{\text{встр}} = 18,75 \text{ м} \,]$

Тема 2.6. Криволинейное движение

2.6.1*. Движение тела, брошенного в горизонтальном направлении

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
представля́ть – предста́вить *что? (В.п.) как что? (В.п.)*	полёт
зави́симый	да́льность
незави́симые друг от друга движения	да́льность полёта

Прочитайте материал к уроку.

Мяч лежит на столе, высота стола *H*. Мячу сообщили скорость $\vec{\upsilon}_0$, угол между горизонтом и скоростью равен нулю. Мяч движется по криволинейной траектории.

Выберем систему координат *XOY*. Ось *OX* направим горизонтально, а ось *OY* вертикально вверх. Скорость мяча при криволинейном движении направлена по касательной. Разложим скорость на две составляющие по осям *OX* и *OY*: $\vec{\upsilon}_x$ и $\vec{\upsilon}_y$. По принципу независимости движения рассмотрим движение тела по осям *OX* и *OY*.

Движение тела в горизонтальном направлении. Найдём проекцию ускорения на ось *OX*: $a_x = g\cos 90° = 0$. Запишем кинематические уравнения движения в проекции на ось *OX*:

$$a_x = g\cos 90° = 0$$

$$\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t = \upsilon_0 = \text{const};$$

$$x = x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} = \upsilon_0 t;$$

$$S_x = \left|\upsilon_{0x} t\right| = \upsilon_0 t.$$

Дальность полёта (*L*) – это расстояние, которое тело пролетит по горизонтали, пока не упадёт на Землю. Время падения тела $t_{\text{пад}}$ с высоты *H* равно времени движения по оси *OX*. За это время тело по оси *OX* пройдёт расстояние:

$$L = S_x = \upsilon_0 t_{\text{пад}}.$$

Движение тела, брошенного горизонтально, вдоль оси *OX* является равномерным движением, т.е. тело движется с постоянной по величине и направлению скоростью.

Движение тела в вертикальном направлении. Тело по оси *OY* движется равноускоренно с ускорением свободного падения $\vec{g}$. Запишем уравнения координаты, пути, проекций ускорения и скорости: $y_0 = H$, $\upsilon_{0y} = \upsilon_0 \cos 90° = 0$ и кинематические уравнения движения тела:

$$a_y = g\cos 180° = -g;$$

$$\upsilon_y = \upsilon_{0y} + a_y t = -gt;$$

$$y = y_0 + \upsilon_y t + \frac{a_y t^2}{2} = H - \frac{gt^2}{2} .$$

В момент падения ($t = t_{пад}$) тела на Землю $y = 0 \Rightarrow H - \frac{gt_{пад}^2}{2} = 0$, тогда

$$t_{пад} = \sqrt{\frac{2H}{g}} .$$

Модуль скорости, с которой тело упадёт на Землю по оси *OY*:

$$\upsilon_{пад_y} = \left|-gt_{пад}\right| = \left|-\sqrt{2gH}\right| = \sqrt{2gH} .$$

Путь, пройденный телом по оси *OY*, равен $S_y = H$.

Скорость тела в любой точке траектории движения (мгновенная скорость) направлена по касательной к траектории, значит, $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y$, где $\vec{\upsilon}_x$ – скорость движения тела по оси *OX*, $\vec{\upsilon}_y$ – скорость движения по оси *OY*. С учётом уравнений проекций скорости на оси *OX* и *OY* получим $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y = \vec{\upsilon}_0 + \vec{g}t$. Модуль мгновенной скорости:

$$\boxed{\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + (gt)^2}} .$$

В момент падения на Землю скорость в точке падения будет равна:

$$\upsilon_{пад} = \sqrt{\upsilon_0^2 + (gt_{пад})^2} = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2gH} .$$

По оси *OY* тело пройдёт расстояние:

$$S_y = H = \frac{gt_{пад}^2}{2} .$$

Следовательно, **дальность полёта** тела, брошенного горизонтально:

$$\boxed{L = \upsilon_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} .}$$

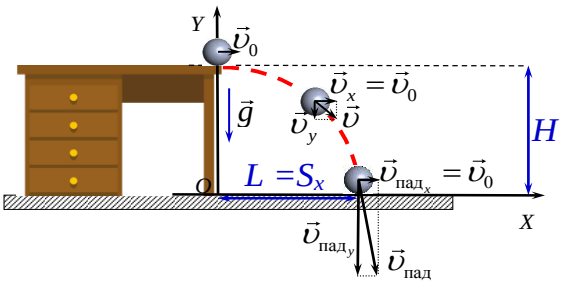
Движение тела в горизонтальном направлении – это криволинейное движение, которое можно представить как сумму двух независимых друг от друга движений: равномерного прямолинейного движения по оси *OX* и свободного падения по оси *OY*.

Пример 1. Со стола высотой 1 м горизонтально бросили мяч со скоростью 1 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите, через какой промежуток времени мяч упадёт на Землю. На каком расстоянии по горизонтали от стола находится точка падения? Найдите скорость падения и угол, который образует вектор скорости с горизонтом в точке падения.

Дано:
$H = 1$ м
$\upsilon_{0x} = 1$ м/с

Найти:
$t_{пад} - ?$
$\upsilon_{пад} - ?$
$\beta_{пад} - ?$
$L - ?$

Решение:



Это пример движения тела, брошенного в горизонтальном направлении ($\alpha = 0°$) с высоты H. Рассмотрим независимое движение тела в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Ось OX	Ось OY
$a_x = g\cos 90° = 0$	$a_y = g\cos 180° = -g$
$\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos 0° = \upsilon_0$	$\upsilon_{0y} = \upsilon_0 \sin 0° = 0$
$\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t = \upsilon_0$	$\upsilon_y = \upsilon_{0y} + a_y t = -gt$
$x = x_0 + \upsilon_{0x} t + \dfrac{a_x t^2}{2} = \upsilon_0 t$	$y = y_0 + \upsilon_{0y} t + \dfrac{a_y t^2}{2} = H - \dfrac{gt^2}{2}$
$S_x = \lvert x - x_0 \rvert = \lvert \upsilon_0 t \rvert$	$S_y = \lvert y - y_0 \rvert = \left\lvert \dfrac{gt^2}{2} \right\rvert$

Из уравнения координаты на ось OY найдём время падения: $y = H - \dfrac{gt^2}{2}$. В момент падения $y = 0$.

$$0 = H - \frac{gt_{\text{пад}}^2}{2} \Rightarrow t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{10}} = \sqrt{0,2}.$$

Найдём дальность полёта:

$$L = S_x = \upsilon_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} = 1\sqrt{\frac{2 \cdot 1}{10}} = \sqrt{0,2}\ .$$

Найдём скорость в момент падения. Это криволинейное движение, скорость направлена по касательной к траектории движения: $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y$. Модуль скорости равен:

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_{x\text{пад}}^2 + \upsilon_{y\text{пад}}^2} \Rightarrow \upsilon_{\text{пад}} = \sqrt{\upsilon_0^2 + (gt)^2} = \sqrt{1 + (10\sqrt{2})^2} = 14,2 \text{ м/с}.$$

Найдём угол, который образует вектор скорости с горизонтом в точке падения:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\upsilon_{y\text{пад}}}{\upsilon_{x\text{пад}}} = \frac{-\sqrt{2gH}}{\upsilon_0},\ \beta = \operatorname{arctg}\left(-\frac{\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1}}{1}\right) \approx 1°.$$

Ответ: $t_{\text{пад}} = \sqrt{0,2}$ с; $\upsilon_{\text{пад}} = 14,2$ м/с; $\beta_{\text{пад}} \approx 1°$; $L = \sqrt{0,2}$ м.

Пример 2. Два тела одновременно бросили со стола. Одно тело бросили горизонтально с начальной скоростью 3 м/с. В момент падения тела на Землю скорость тела была равна 5 м/с. Второе тело упало без начальной скорости. Найдите высоту стола. Сделайте выводы о времени движения тел.

Дано:

$\upsilon_{01} = 0$

$\upsilon_{02} = 3$ м/с

$\upsilon_{\text{пад}2} = 5$ м/с

$t_{01} = t_{02} = 0$ с

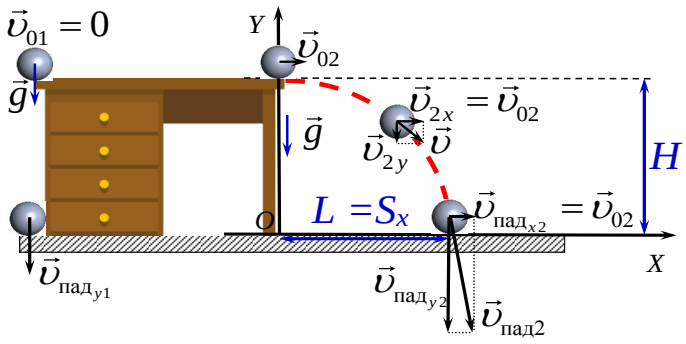
Найти:

H – ?

$t_{\text{дв}1}$ – ?

$t_{\text{дв}2}$ – ?

Решение:



Рассмотрим движение второго тела – это криволинейное движение. Разложим скорость на две составляющие по осям *OX* и *OY*: $\vec{\upsilon}_x$ и $\vec{\upsilon}_y$:

$$\vec{\upsilon}_2(t_{\text{пад}}) = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y \Rightarrow \upsilon_2(t_{\text{пад}}) = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2} \Rightarrow \upsilon_{2y}(t_{\text{пад}}) = \sqrt{\upsilon_2^2 - \upsilon_{2x}^2} .$$

$$\upsilon_{2y}(t_{\text{пад}}) = \sqrt{\upsilon_2^2 - \upsilon_{2x}^2} = \sqrt{5^2 - 3^2} = 4 \text{ м/с}.$$

По принципу независимости движения рассмотрим движение тела по осям *OX* и *OY*.

Запишем кинематические уравнения движения тела по осям *OX* и *OY*.

ось *OX*	ось *OY*
$a_{2x} = g\cos 90° = 0$;	$a_{2y}(t) = -g$;
$\upsilon_{2x} = \upsilon_{02x} + a_{2x}t = \upsilon_{02} = \text{const};$	$\upsilon_{2y}(t) = \upsilon_{02y} + a_{2y}t = 0 - gt = -gt$;
$x_2 = x_{02} + \upsilon_{02x}t + \frac{a_{2x}t^2}{2} = \upsilon_{02}t$	$y_2(t) = y_{02} + \upsilon_{02y}t + \frac{a_{2y}t^2}{2} = H - \frac{gt^2}{2}$.
	В момент падения ($t = t_{\text{пад}}$) тела на Землю:
	$\upsilon_{\text{пад}2y}(t_{\text{пад}}) = \upsilon_{02y} + a_{2y}t = 0 - gt_{\text{пад}} = -gt_{\text{пад}}$
	$\Rightarrow t_{\text{пад}} = \upsilon_{\text{пад}2y} / g$, $t_{\text{пад}2} = \upsilon_{\text{паду}} / g = 4/10 = 0,4$ с.
	Высота стола равна:
	$y_2(t) = H - \frac{g_{\text{пад}}^2}{2} = 0$
	$\Rightarrow H = \frac{gt_{\text{пад}}^2}{2} = \frac{10 \cdot 0,4^2}{2} = 0,8$ м.

Рассмотрим движение первого тела – это движение тела без начальной скорости с ускорением свободного падения. Такое движение называют свободным падением. Запишем кинематические уравнения движения в момент падения тела на Землю $t = t_{\text{пад}}$:

$$a_y(t_{\text{пад}}) = -g ,$$

$$\upsilon_{\text{пад}1_y} = \left|-gt_{\text{пад}1}\right|,$$

$$0 = H - \frac{gt_{\text{пад}}^2}{2} .$$

Найдём время падения тела:

$$t_{\text{пад}1} = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,8}{10}} = 0,4 \text{ м/с}. .$$

Ответ: время падения тел одинаковое и равно 0,4 с, т. е. время падения определяется высотой стола, а не начальной скоростью движения тела. Высота стола 0,8 м.

Выполните задания.

Задание 2.6.1. Ответьте на вопросы.

1. На какие типы движения можно разложить движение тела, брошенного горизонтально?

2. Как движется тело в горизонтальном направлении? Какое это движение?
3. Как движется тело в вертикальном направлении? Какое это движение?

Задание 2.6.2. Выберите правильный вариант ответа.

1. Свободное падение – это ...
   (А) равнопеременное, замедленное движение без начальной скорости
   (Б) равнопеременное, ускоренное движение без начальной скорости
   (В) равномерное движение без начальной скорости

2. Падение – это ...
   (А) движение тела вниз
   (Б) равноускоренное движение тела вверх
   (В) равноускоренное движение тела вниз

3. Дальность полёта – это ...
   (А) траектория движения тела в горизонтальном направлении
   (Б) высота, с которой тело падает на землю
   (В) расстояние, которое пролетит тело в горизонтальном направлении, пока не упадёт на землю

4. Тело, брошенное горизонтально, движется по … .
   (А) прямой (Б) окружности (В) параболе

5. Подъём – это …
   (А) равномерное движение тела вниз
   (Б) замедленное движение тела вверх
   (В) ускоренное движение тела вниз

Задание 2.6.3. Прочитайте формулы.

1) $\upsilon_{\text{пад}_y} = \sqrt{2gH}$ 2) $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y$ 3) $\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2gH}$ 4) $L = \upsilon_0\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$

Задание 2.6.4. Решите задачу в тетради.
Тело находилось на высоте 25 м. С этой высоты тело бросили горизонтально со скоростью 20 м/с. По какой траектории двигалось тело? Чему равна дальность полёта? Через какое время тело упадёт на Землю? Чему равна скорость падения?

[$L = 20\sqrt{5}$ м; $\upsilon_{\text{пад}} = 30$ м/с; $t_{\text{пад}} = \sqrt{5}$ с]

Задание 2.6.5. Решите задачу в тетради.
Два тела одновременно бросили со стола. Одно тело бросили горизонтально с начальной скоростью 3 м/с. В момент падения тела на Землю скорость тела была равна 5 м/с. Второе тело упало без начальной скорости. Найдите высоту стола. Сделайте выводы о времени движения тел.

Задание 2.6.6. Решите задачу в тетради.
Тело бросили горизонтально из окна, которое находится на высоте 25 м. Начальная скорость тела равна 10 м/с. На каком расстоянии от дома тело упадёт на Землю?

[$L = 20\sqrt{3}$ м]

Задание 2.6.7. Решите задачу в тетради.
Тело бросили горизонтально с высоты 2 м. Тело упало на Землю на расстоянии 7 м от места бросания. Найдите модули начальной и конечной скорости тела.

[$\upsilon_0 = 11,6$ м/с; $\upsilon_{пад} = 12,74$ м/с]

Задание 2.6.8. Решите задачу в тетради.
С высоты 20 м горизонтально брошено тело со скоростью 5 м/с. Найдите, через какой промежуток времени тело упадёт на Землю. На каком расстоянии от точки бросания тело упадёт на Землю?

[$L = 10$ м; $t_{пад} = 2$ с]

Задание 2.6.9. Решите задачу в тетради.
Тело, брошенное горизонтально на высоте 20 м над Землёй, упало на расстоянии 5 м от места бросания. Чему равна скорость тела в момент падения на Землю?

[$\upsilon_{пад} = 20,15$ м/с]

Задание 2.6.10. Решите задачу в тетради.
Тело брошено горизонтально с высоты 20 м. Траектория движения описывается уравнением: $y = 20 - 0,05x^2$. Чему равна дальность полёта?

[$L = 20$ м]

2.6.2. Движение тела, брошенного под углом к горизонту

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
горизо́нт	движение под углом *к чему? (Д.п.)* баллистический

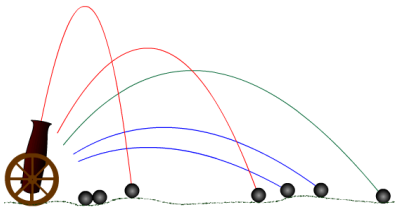
Прочитайте и запомните.

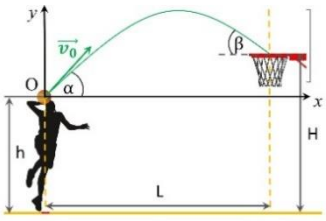
Бросить тело под углом к горизонту. = Тело брошено под углом к горизонту.

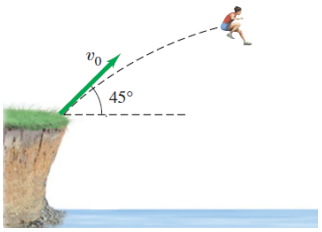
Прочитайте материал к уроку.

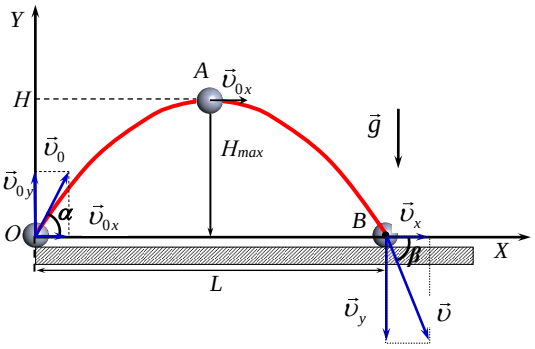
Рассмотрим пример движения тела, которое бросили под углом к горизонту.

Движение тела, брошенного под углом к горизонту – это криволинейное движение. Траекторией движения является парабола. Рассмотрите картинки.









Скорость тела $\vec{\upsilon}_0$ при криволинейном движении направлена по касательной к траектории движения. Построим систему координат *XOY*. Разложим скорость тела на две составляющие по осям *OX* и *OY*. Согласно принципу независимости движения рассмотрим движения вдоль осей *OX* и *OY*.

Запишем кинематические уравнения движения для каждой оси.

Уравнение	*OX*	*OY*	
	Траектория *AB*	Траектория *OA*	Траектория *AB*
проекции ускорения	$a_x = g\cos 90° = 0$	$a_y = -g$	$a_y = -g$
проекции скорости	$\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\alpha = \text{const}$	$\upsilon_y = \upsilon_0 \sin\alpha - gt$	$\upsilon_y = -gt$
координаты	$x = x_0 + \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} = \upsilon_0 \cos\alpha \cdot t$	$y = y_0 + \upsilon_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} = \upsilon_0 \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$	$y = H - \frac{gt^2}{2}$
пути	$S_x = \upsilon_{0x}t = \upsilon_0 \cos\alpha \cdot t$	$S_y = \left\lvert \upsilon_0 \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \right\rvert$	$S_y = H - \frac{gt^2}{2}$
Вывод:	Движение вдоль оси *OX* является равномерным ($\upsilon_{0x} = \text{const}, a_x = 0$)	Движение вдоль оси *OY* является равнозамедленным ($\vec{\upsilon}_{0y} \uparrow\downarrow \vec{g}$)	Движение вдоль оси *OY* является равноускоренным ($\vec{\upsilon}_{0y} \uparrow\uparrow \vec{g}$)

Движение тела под углом к горизонту называют **баллистическим движением**. Характеристиками такого движения являются траектория, время подъёма, время полёта, скорость полёта, дальность полёта. Из кинематических уравнений движения найдём эти характеристики.

Траектория движения тела в поле тяжести. Запишем закон движения тела:

по оси *OX*

по оси *OY*

$$\begin{cases} x = x_0 + \upsilon_{0x}t \\ y = y_0 + \upsilon_{0y}t + \dfrac{a_y t^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \upsilon_0 \cos\alpha t \\ y = \upsilon_0 \sin\alpha t - \dfrac{gt^2}{2} \end{cases} \Rightarrow$$

$$t = \frac{x}{\upsilon_0 \cos\alpha} \Rightarrow y = x \cdot \text{tg}\alpha - \frac{gx^2}{2\upsilon_0^2 \cos^2\alpha}.$$

Из уравнения видим, что $y \sim x^2$ – это парабола, то есть траекторией движения тела является парабола.

Найдём время подъёма тела на максимальную высоту. Вертикальная составляющая проекции скорости тела в точке максимального подъёма (точка *A*) равна нулю:

$$\upsilon_y = \upsilon_{0y} - a_y t_{\text{под}} = 0$$

$$\upsilon_0 \sin\alpha - gt_{\text{под}} = 0$$

$$\boxed{t_{\text{под}} = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g}}.$$

Так как время полёта равно сумме времени подъёма и времени падения тела, то $t_{\text{полёта}} = t_{\text{под}} + t_{\text{пад}} = 2\frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g}$.

Найдём высоту подъёма тела:

$$y = y_0 + \upsilon_{0y} t_{\text{под}} + \frac{a_y t_{\text{под}}^2}{2},$$

$$H = 0 + \upsilon_0 \sin\alpha t_{\text{под}} - \frac{g t_{\text{под}}^2}{2},$$

$$H = \upsilon_0 \sin\alpha t_{\text{под}} - \frac{g t_{\text{под}}^2}{2} = \frac{(\upsilon_0 \sin\alpha)^2}{g} - \frac{g(\upsilon_0 \sin\alpha)^2}{2g},$$

$$\boxed{H = \frac{(\upsilon_0 \sin\alpha)^2}{2g}}.$$

Дальность полёта – это расстояние по горизонтали, которое пролетит тело от места бросания (точка *O*) до точки падения (точка *B*).

$$x_{\max} = L = |S_x| = \upsilon_{0x} t_{\text{полёта}} = \upsilon_0 \cos\alpha \cdot \frac{2\upsilon_0 \sin\alpha}{g} = \frac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$\boxed{L = \frac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}}.$$

Дальность полёта зависит от начальной скорости тела и угла бросания.

Найдём скорость тела в различных точках траектории. Тело движется по криволинейной траектории, поэтому скорость равна: $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon}_y$. Модуль скорости равен: $\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2}$. Найдём скорость в различных точках траектории:

Точка *O* (начало движения)	$\upsilon = \upsilon_0 = \sqrt{\upsilon_{0x}^2 + \upsilon_{0y}^2} = \sqrt{(\upsilon_0 \cos\alpha)^2 + (\upsilon_0 \sin\alpha)^2} = \upsilon_0$
Линия *OA* (подъём тела)	$\upsilon_{\text{OA}} = \sqrt{(\upsilon_0 \cos\alpha)^2 + (\upsilon_0 \sin\alpha - gt)^2}$
Точка *A* (точка максимального подъёма)	$\upsilon_{\text{A}} = \sqrt{(\upsilon_0 \cos\alpha)^2 + 0} = \upsilon_0 \cos\alpha$ Скорость в точке *A* направлена горизонтально
Линия *AB* (падение тела)	$\upsilon_{\text{AB}} = \sqrt{(\upsilon_0 \cos\alpha)^2 + (-gt)^2} = \sqrt{(\upsilon_0 \cos\alpha)^2 + (gt)^2}$
Точка *B* (точка падения тела)	$\upsilon_{\text{B}} = \sqrt{(\upsilon_0 \cos\alpha)^2 + (gt_{\text{пад}})^2} = \sqrt{(\upsilon_0 \cos\alpha)^2 + (g\frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g})^2} =$ $= \sqrt{\upsilon_0^2} = \upsilon_0$ Скорость тела в момент подъёма равна скорости тела в момент падения. $\text{tg}\alpha = \frac{\upsilon_{\text{упад}}}{\upsilon_{\text{хпад}}} = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{\upsilon_0 \cos\alpha} = \text{tg}\alpha$ Угол, под которым бросили тело, равен углу, под которым тело упало на Землю.

Движение тела, брошенного под углом к горизонту, – это криволинейное движение, которое можно представить как сумму независимых друг к другу движений: равномерного прямолинейного по оси *OX* и равнопеременного по оси *OY* (при подъёме – равнозамедленного и при падении – равноускоренного).

Пример 1. Снаряд вылетел под углом α = 30° к горизонту со скоростью $\upsilon_0 = 200$ м/с. Определите скорость снаряда, нормальное и тангенциальное ускорения через 3 с после начала движения. На какое расстояние переместится за это время снаряд по горизонтали? На какую максимальную высоту поднимется снаряд?

Дано:

$\alpha = 30°$

$\upsilon_0 = 200$ м/с

$t = 3$ с

Найти:

$\upsilon - ?$

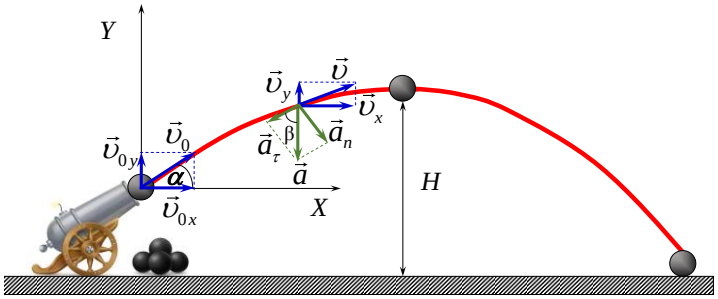
$a_\tau - ?$

$a_n - ?$

$S - ?$

$H - ?$

Решение:



Найдём время подъёма снаряда:

$$\upsilon_y = \upsilon_{0y} + a_y t = \upsilon_0 \sin\alpha - g t_{\text{под}} = 0 \Rightarrow t_{\text{под}} = \frac{\upsilon_{0y}}{g} = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g} = 10 \text{ с}.$$

$t < t_{\text{под}} \Rightarrow$ снаряд через 3 с будет двигаться равнозамедленно.

Максимальная высота подъёма тела равна:

$$H = y_0 + \upsilon_{0y} t - \frac{gt^2}{2} = \upsilon_0 \sin\alpha t_{\text{под}} - \frac{g t_{\text{под}}^2}{2} = 200 \cdot 1/2 \cdot 10 - \frac{10 \cdot 10^2}{2} = 500 \text{ м}.$$

Найдём проекции скорости и перемещения на оси *OX* и *OY*:

$$\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\alpha, \upsilon_x = \upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\alpha$$

$$\upsilon_{0y} = \upsilon_0 \sin\alpha, \upsilon_y = \upsilon_{0y} + a_y t = \upsilon_0 \sin\alpha - gt.$$

Найдём скорость движения снаряда:

$$\upsilon(t) = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2} = \sqrt{\upsilon_0^2 \cos^2\alpha + (\upsilon_0 \sin\alpha - gt)^2} = \sqrt{40000 \cdot \frac{3}{4} + (200 \cdot \frac{1}{2} - 10 \cdot 3)^2} =$$

$$= \sqrt{30000 + 4900} = 186{,}8 \text{ м/с}.$$

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \Rightarrow \vec{a} = \vec{g} \Rightarrow g = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}\ .$$

$$a_\tau = g\cos\beta = g\frac{\upsilon_y}{\upsilon} = g\frac{(\upsilon_0 \sin\alpha - gt)}{\sqrt{\upsilon_0^2 \cos^2\alpha + (\upsilon_0 \sin\alpha - gt)^2}} = 10 \cdot \frac{(200 \cdot 1/2 - 10 \cdot 3)}{\sqrt{34900}} = \frac{700}{186{,}8} = 3{,}74 \text{ м/с}^2.$$

$$a_n = g\cos\beta = g\frac{\upsilon_x}{\upsilon} = g\frac{\upsilon_0 \cos\alpha}{\sqrt{\upsilon_0^2 \cos^2\alpha + (\upsilon_0 \sin\alpha - gt)^2}} = 10 \cdot \frac{200 \cdot \sqrt{3}/2}{\sqrt{34900}} = \frac{1732}{186{,}8} = 9{,}27 \text{ м/с}^2.$$

Найдём расстояние, на которое переместится заряд по горизонтали:

$$S = \upsilon_{0x} \cdot t = \upsilon_0 \cos\alpha \cdot t = 200 \cdot \sqrt{3}/2 \cdot 3 \approx 520 \text{ м}.$$

Ответ: $\upsilon = 186{,}8$ м/с; $a_\tau = 3{,}74$ м/с^2; $a_n = 9{,}27$ м/с^2; $S = 520$ м; $H = 500$ м; $h = 70$ м.

Выполните задания.

Задание 2.6.11. Найдите соответствия между физическими величинами и формулами. Прочитайте формулы.

1. Время подъёма и время падения.
2. Максимальная высота подъёма.
3. Время движения общее.
4. Скорость падения.
5. Дальность полёта.
6. Мгновенная скорость.

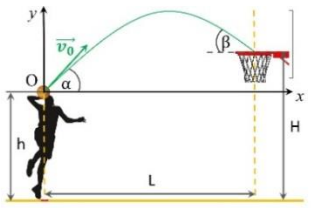
А. $t = 2\dfrac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g}$ **Б.** $L = \dfrac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ **В.** $H = \dfrac{(\upsilon_0 \sin\alpha)^2}{2g}$

Г. $t = \dfrac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g}$ **Д.** $\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2}$ **Е.** $\upsilon_{\text{пад}} = \upsilon_0$

1. _____ 2. _____ 3. _____
4. _____ 5. _____ 6. _____

Задание 2.6.12. Выберите правильный ответ. Если тело брошено под углом α с начальной скоростью $\vec{\upsilon}_0$, то её проекцию на ось OY можно определить по формуле:

1. $\upsilon_y = \upsilon_0 \cos\alpha - gt;$
2. $\upsilon_y = \upsilon_0 \sin\alpha - gt;$
3. $\upsilon_y = \upsilon_0 \sin\alpha;$
4. $\upsilon_y = \upsilon_0 \sin\alpha + gt.$



Задание 2.6.13. Решите задачу в тетради.
Тело бросили под углом α = 30° к горизонту с начальной скоростью 100 м/с. Чему равна скорость тела в максимальной точке подъёма? Сколько времени тело будет двигаться? Чему равна дальность полёта?

Задание 2.6.14. Решите задачу в тетради.
Тело бросили под углом α = 30° к горизонту. Тело упало на Землю на расстоянии 100 м от точки бросания. Чему равна начальная скорость тела? С какой скоростью тело упало на Землю? Сколько времени тело поднималось? Сколько времени двигалось тело?

Задание 2.6.15. Решите задачу в тетради.
Тело бросили под углом α = 60° к горизонту. Тело поднялось на высоту 100 м. Чему равна начальная скорость тела? Во сколько раз дальность полёта отличается от максимальной высоты подъёма тела? Сколько времени тело падало? Чему равно время движения? Чему равна дальность полёта?

Задание 2.6.16. Решите задачу в тетради.
Тело бросили под углом α = 45° со скоростью 20 м/с. На какую высоту поднимется тело? Сколько времени тело будет подниматься? В какой момент времени тело будет находиться на высоте 5 м над Землей? Постройте графики зависимости координат $x = f(t)$ и $y = f(t)$.

$$[\, H = 10 \text{ м}; t_{\text{под}} = 1,4 \text{ с}; t_{5\text{м}} = 0,4 \text{ с} \,]$$

Задание 2.6.17. Решите задачу в тетради.
На высоте 20 м над Землей тело бросили под углом α = 60° к горизонту с начальной скоростью 30 м/с. Напишите кинематические уравнения движения тела. По какой траектории будет двигаться тело? Сколько времени тело будет подниматься? На какую высоту над Землей поднимется тело? Сколько времени тело будет падать? Чему равна дальность полёта? Чему равна скорость падения? Чему равно время движения?

$$[\, L = 88,15 \text{ м}; t_{\text{под}} = 2,6 \text{ с}; t_{\text{пад}} = 3,3 \text{ с}; H_{\max} = 53,75 \text{ м}; \upsilon_{\text{пад}} = 36,05 \text{ м/с}; t_{\text{дв}} = 5,9 \text{ с} \,]$$

Тема 2.7. Вращательное движение материальной точки

2.7.1. Движение материальной точки по окружности

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
вращáться	оборóт
вращéние	перúод
окрýжность	частотá
дугá	частотá вращéния
рáдиус	нормáльный
радиáн	цéнтростремúтельный
центр, центрáльный	винт
ýгол, угловóй	бурáвчик
лúния, линéйный	

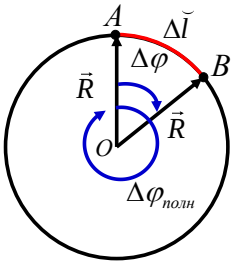
Выполните задания.

Задание 2.7.1. Составьте словосочетания.

1) центр (окружность) ...
2) радиус (окружность) ...
3) дуга (окружность) ...
4) длина (окружность)...
5) длина (дуга) ...
6) (угловой) перемещение ...
7) (линейный) скорость (вращение) ...
8) (средний) (угловой) скорость ...
9) (мгновенный) (угловой) скорость ...
10) (центростремительный) ускорение ...

Прочитайте материал к уроку.

Движение тела по окружности – это криволинейное движение. Траекторией движения является окружность. Рассмотрите рисунок.



Точка O – это **центр окружности**.

R – **радиус окружности**.

$\Delta\breve{l} = AB$ – это **дуга окружности**.

$\Delta\varphi$ – это **центральный угол,** угол между радиусами OA и OB.

$\Delta\varphi_{полн}$ – это **полный центральный угол. В системе СИ центральный угол измеряется в радианах: $[\Delta\varphi_п] = 1$ рад.**

φ = [фи]

Полный центральный угол $\Delta\varphi_{полн}$ равен 360° или 2π.

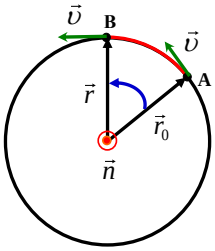
$\pi = 3{,}1415926535$

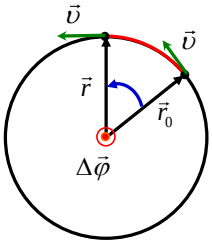
Длину дуги $\Delta\breve{l}$ можно найти, если умножить центральный угол $\Delta\varphi$ на радиус окружности R:

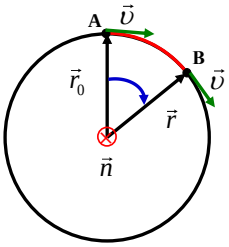
$$\Delta l = \Delta\varphi \cdot R.$$

Длина дуги окружности равна:

$$\Delta l = \Delta\varphi_{полн} \cdot R = 2\pi \cdot R.$$



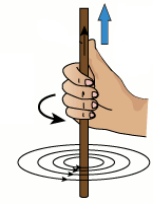




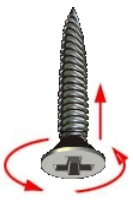
Расстояние от оси вращения до материальной точки является радиус-вектором $\vec{r}$. Пусть материальная точка из точки A с радиус-вектором $\vec{r}_0$ в начальный момент времени t_0 переместилась в точку B с радиус-вектором $\vec{r}$. Тогда за время $\Delta t = t - t_0$ материальная точка повернулась на угол $\Delta\varphi$. Угловое перемещение $\Delta\vec{\varphi} = \Delta\varphi \cdot \vec{n}$, где $\vec{n}$ – вектор, направление которого определяют по правилу буравчика.

Правило буравчика (правило правой руки, правило правого винта, штопор): если направим четыре пальца правой руки по направлению движения тела, то большой палец укажет направление вектора $\vec{n}$. Если вектор направлен «к нам», то направление вектора обозначают $\odot$. Если вектор направлен «от нас», то направление вектора обозначают $\otimes$. Вектор углового перемещения направлен по оси вращения перпендикулярно плоскости вращения.

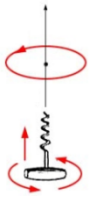
Правило буравчика



правило правой руки



правило правого винта



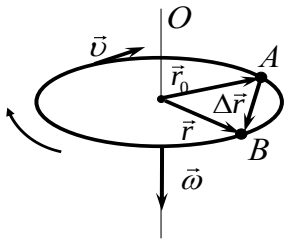
штопор

Угловая скорость вращения ($\vec{\omega}$) **– это векторная физическая величина, которая определяет быстроту вращения тела по окружности.** Угловая скорость равна отношению углового перемещения к промежутку времени, за который это перемещение произошло:

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

Вектор угловой скорости $\vec{\omega}$ направлен так же, как вектор углового перемещения $\Delta\vec{\varphi}$ (по оси вращения). Угловая скорость измеряется в радианах в ду: $[\omega] = 1$ рад/с $= \text{с}^{-1}$.

Линейная скорость вращения



При перемещении материальной точки из точки A в точку B скорость изменяется только по направлению. Вектор перемещения равен: $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$.

За малый промежуток времени $\Delta t \to 0, \Delta\vec{r} \to 0$ вектор $\vec{\upsilon}$ будет направлен по касательной к окружности, а это и есть мгновенная скорость:

$$\vec{\upsilon} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}.$$

Период и частота вращения

Период (*T*) – это время, за которое точка совершает один полный оборот по окружности. Если за время t точка делает N полных оборотов по окружности, то период вращения равен:

$$T = \frac{t}{N}.$$

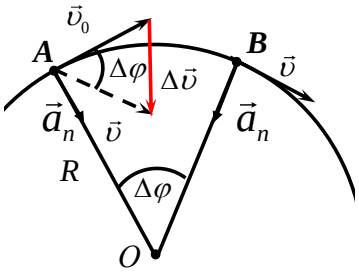
Частота вращения (ν) **– это число полных оборотов точки за единицу времени (за 1 секунду):**

$$\nu = \frac{N}{t} \quad \text{или} \quad \nu = \frac{1}{T}.$$

Частота вращения – это величина, обратная периоду. Частота обозначается буквой ν (ню) и в системе СИ измеряется в Герцах: $[\nu] = 1$ Гц $= 1$ с $^{-1}$. Частота также измеряется в оборотах за единицу времени: об/с, об/мин, об/ч.

Если $\vec{\upsilon}$ – линейная скорость тела, равномерно движущегося по окружности, то за время, равное периоду T, тело проходит по окружности путь, равный длине окружности $2\pi R$, тогда $\upsilon = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \omega R$, где $\omega = 2\pi\nu$ или в векторном виде: $\vec{\upsilon} = [\vec{\omega}\vec{R}]$.

Ускорение



Ускорение характеризует быстроту изменения скорости (как по величине, так и по направлению) в единицу времени: $\vec{a} = \frac{\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}$. Вектор ускорения направлен так же, как $\Delta\vec{\upsilon}$. Из рисунка видно, что вектор $\Delta\vec{\upsilon}$ направлен внутрь окружности. Если $\Delta t \to 0$, то $\Delta\vec{\upsilon}$ будет направлен к центру окружности. Таким образом,

при равномерном вращательном движении материальной точки ускорение во всех точках будет направлено к центру. Поэтому это ускорение называется **центростремительным ускорением, или нормальным ускорением, и** характеризует изменение линейной скорости по направлению. **Вектор нормального ускорения** $\vec{a}_n$ **направлен по радиусу к центру окружности.**

Так как ускорение $a_n = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t}$. При малых углах $\Delta\varphi$ поворота радиуса $\Delta\upsilon = \upsilon \cdot \Delta\varphi$, а $\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t$. Тогда $a_n = \frac{\upsilon \cdot \omega \cdot \Delta t}{\Delta t} = \upsilon \cdot \omega$. Так как $\omega = \frac{\upsilon}{R}$, то $a_n = \frac{\upsilon^2}{R}$ или $a_n = \omega^2 R$.

Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости по величине: $a_\tau = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t}$. Следовательно, a_τ при равномерном движении по окружности равно нулю: $a_\tau = 0$.

Взаимосвязь линейных и угловых кинематических характеристик движения:

$$\upsilon = R\omega,$$
$$S = R\Delta\varphi,$$
$$a_n = R\omega^2.$$

Выполните задания.

Задание 2.7.2. Найдите соответствия.

1. угловая скорость
2. частота вращения
3. линейная скорость
4. нормальное ускорение
5. период

(А) $v = N/t$ (Б) $a_n = R\omega^2$ (В) $T = t/N$ (Г) $\omega_{ср} = \Delta\varphi/\Delta t$ (Д) $\upsilon = \omega R$

Задание 2.7.3. Выберите правильный вариант ответа.

1. Движение материальной точки по окружности является равномерным, …
   (А) если её угловая скорость ω изменяется со временем линейно
   (Б) если её угловая скорость ω возрастает со временем
   (В) если её угловая скорость ω не меняется со временем

2. Тело движется по окружности. Во сколько раз изменится тангенциальное ускорение при увеличении его угловой скорости в 3 раза?
   (А) увеличится в 2 раза (В) увеличится в 3 раза
   (Б) уменьшится в 2 раза (Г) уменьшится в 3 раза

3. За 1 с угловая скорость при вращательном движении изменилась с 3 до 1 рад/с. Чему равно угловое ускорение?
   (А) 2 рад/с (В) 3 рад/с
   (Б) 2 рад/с^2 (Г) 3 рад/с^2

Задание 2.7.4. Решите задачу в тетради.

Точка равномерно движется по окружности. За 3 с радиус повернулся на угол 45°. Найдите период вращения и угловую скорость.

[$T = 24$ с; $\omega = \pi/12$ рад/с]

Задание 2.7.5. Решите задачу в тетради.
Точка движется по окружности с угловой скоростью 3 рад/с. Найдите период и частоту вращения. На какой угол повернётся радиус за 20 с? Сколько оборотов сделает тело за это время?

$$[\,T = 2\pi/3\ \text{с};\ \nu = 3\pi/2\ \text{Гц},\ \Delta\varphi = 60\ \text{рад};\ n = 9\,]$$

Задание 2.7.6. Решите задачу в тетради.
Точка движется по окружности равномерно с частотой 3 об/с. Радиус окружности 60 см. Чему равны период вращения, угловая скорость, линейная скорость и нормальное ускорения точки?

$$[\,T = 1/3\ \text{с};\ \omega = 6\pi\ \text{рад/с};\ \upsilon = 3{,}6\pi\ \text{м/с};\ a_n = 21{,}6\pi^2\ \text{м/с}^2\,]$$

Задание 2.7.7. Решите задачу в тетради.
Точка равномерно движется по окружности радиусом 4 м. Линейная скорость точки равна 20 м/с. Найдите период, частоту, угловую скорость вращения точки по окружности. Чему равно нормальное ускорение точки? Сколько оборотов сделает точка за 50 с движения по окружности?

$$[\,T = 0{,}4\pi\ \text{с};\ \omega = 5\ \text{рад/с};\ \nu = 5/2\pi\ \text{Гц};\ a_n = 100\ \text{м/с}^2;\ n = 392\,]$$

Задание 2.7.8. Решите задачу в тетради.
Точка движется равномерно по окружности. Точка делает 600 оборотов за 0,5 мин. Радиус окружности 2 м. Определите период, частоту и угловую скорость вращения. Чему равна линейная скорость и нормальное ускорение точки?

$$[\,T = 0{,}05\ \text{с};\ \omega = 40\pi\ \text{рад/с};\ \upsilon = 80\pi\ \text{м/с};\ \nu = 20\ \text{Гц};\ a_n = 3200\pi^2\ \text{м/с}^2\,]$$

2.7.2. Равнопеременное движение по окружности

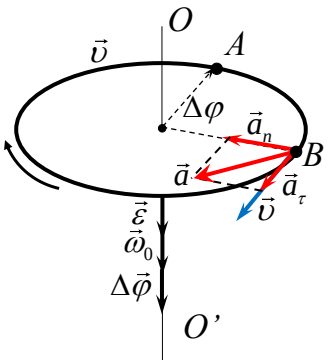
Прочитайте материал к уроку.

При равнопеременном движении быстрота изменения скорости материальной точки остается постоянной, тогда угловая скорость увеличивается или уменьшается. Вектор, который характеризует быстроту изменения угловой скорости материальной точки, называется угловым ускорением:

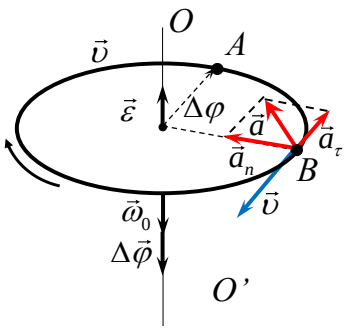
$$\vec{\varepsilon} = \lim_{t\to 0}\frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}.$$

Рассмотри примеры для неподвижной оси вращения (OO').

Ускоренное движение



Замедленное движение



Направления угловой скорости и углового ускорения совпадают при равноускоренном движении и противоположны при равнозамедленном движении.

Запишем уравнения движения материальной точки.

Физическая величина	Ускоренное движение		Замедленное движение
Угловое ускорение	$\vec{\omega} \uparrow\uparrow \vec{\varepsilon}$	$\vec{\varepsilon} = \text{const}$	$\vec{\omega} \uparrow\downarrow \vec{\varepsilon}$
Угловая скорость	$\omega = \pm\omega_0 \pm \varepsilon t$	$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon} t$	$\omega = \pm\omega_0 \pm \varepsilon t$
Угловое перемещение	$\varphi = \varphi_0 \pm \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$	$\lvert\vec{a}_\tau\rvert = \text{const}$ $a_\tau = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{R\Delta\omega}{\Delta t} = R\varepsilon$	$\varphi = \varphi_0 \pm \omega_0 t \mp \frac{\varepsilon t^2}{2}$
Тангенциальное ускорение	$\vec{a}_\tau \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}$	$\vec{a}_\tau = \left[\vec{\varepsilon}\vec{R}\right]$	$\vec{a}_\tau \uparrow\downarrow \vec{\upsilon}$
Нормальное ускорение		$a_n = \frac{\upsilon^2}{R} = R\omega^2$ $\vec{a}_n = -\omega^2 \vec{R}$	
Полное ускорение		$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$	
Линейная скорость	$\vec{a}_\tau \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}$	$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}_\tau t$	$\vec{a}_\tau \uparrow\downarrow \vec{\upsilon}$
Путь	$S = \left\lvert \pm\upsilon_0 t \pm \frac{a_\tau t^2}{2} \right\rvert$	$S = \left\lvert \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}_\tau t^2}{2} \right\rvert$	$S = \left\lvert \pm\upsilon_0 t \mp \frac{a_\tau t^2}{2} \right\rvert$

Выполните задания.

Задание 2.7.9. Найдите соответствие.

1. угловая скорость
2. угловое ускорение
3. линейная скорость
4. нормальное ускорение
5. угловое перемещение

(А) $\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon} t$ (Б) $a_n = \omega^2 R$ (В) $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}_\tau t$ (Г) $\varphi = \varphi_0 \pm \omega_0 t \mp \frac{\varepsilon t^2}{2}$ (Д) $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}_\tau t$

Задание 2.7.10. Найдите соответствие

Угловое ускорение		$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon} t$
Угловая скорость		$a_n = \frac{\upsilon^2}{R} = R\omega^2$
Тангенциальное ускорение		$S = \left\lvert \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}_\tau t^2}{2} \right\rvert$
Нормальное ускорение		$\vec{\varepsilon} = \text{const}$
Полное ускорение		$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}_\tau t$
Линейная скорость		$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$
Путь		$a_\tau = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{R\Delta\omega}{\Delta t} = R\varepsilon$

Задание 2.7.11. Выберите правильный вариант ответа.

1. Движение материальной точки по окружности является равномерным, …

(А) если её угловая скорость ω изменяется со временем линейно.

(Б) если её угловая скорость ω возрастает со временем.

(В) если её угловая скорость ω не меняется со временем.

2. При равнопеременном движении быстрота изменения скорости материальной точки …

(А) возрастает.

(Б) убывает.

(В) остается постоянной.

3. Вектор, который характеризует быстроту изменения угловой скорости материальной точки, называется …

(А) угловым ускорением

(Б) линейным ускорением

(В) угловым перемещением

4. Движение материальной точки по окружности является равноускоренным, …

(А) если её угловая скорость ω изменяется со временем линейно.

(Б) если её угловая скорость ω возрастает со временем.

(В) если её угловая скорость ω не меняется со временем.

5. Движение материальной точки по окружности является равнозамедленным, …

(А) если её угловая скорость ω убывает со временем.

(Б) если её угловая скорость ω возрастает со временем.

(В) если её угловая скорость ω не меняется со временем.

Задание 2.7.12. Впишите пропущенные слова.

1. Направление угловой скорости и углового ускорения …… при равноускоренном движении.

2. Направление угловой скорости и углового ускорения …… при равнозамедленном движении.

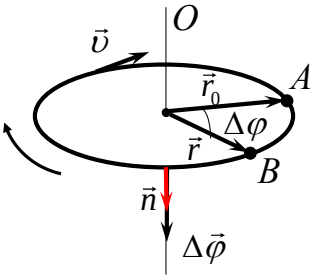
3. Направление угловой скорости и углового перемещения …… при равнозамедленном движении.

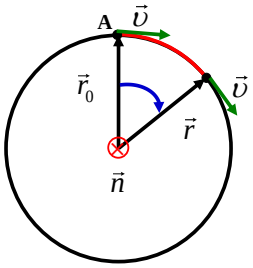
4. Направление угловой скорости можно найти по ……

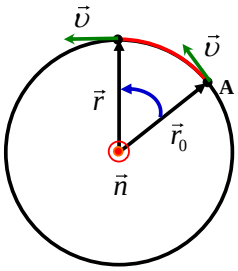
5. Линейная скорость направлена по ……

6. Нормальное ускорение направлено по ……

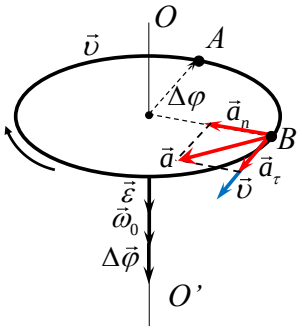
Задание 2.7.13. Определите направления угловых характеристик движения. Составьте рассказ по картинкам.

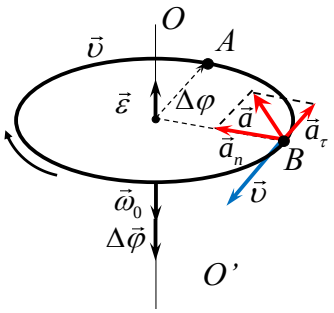






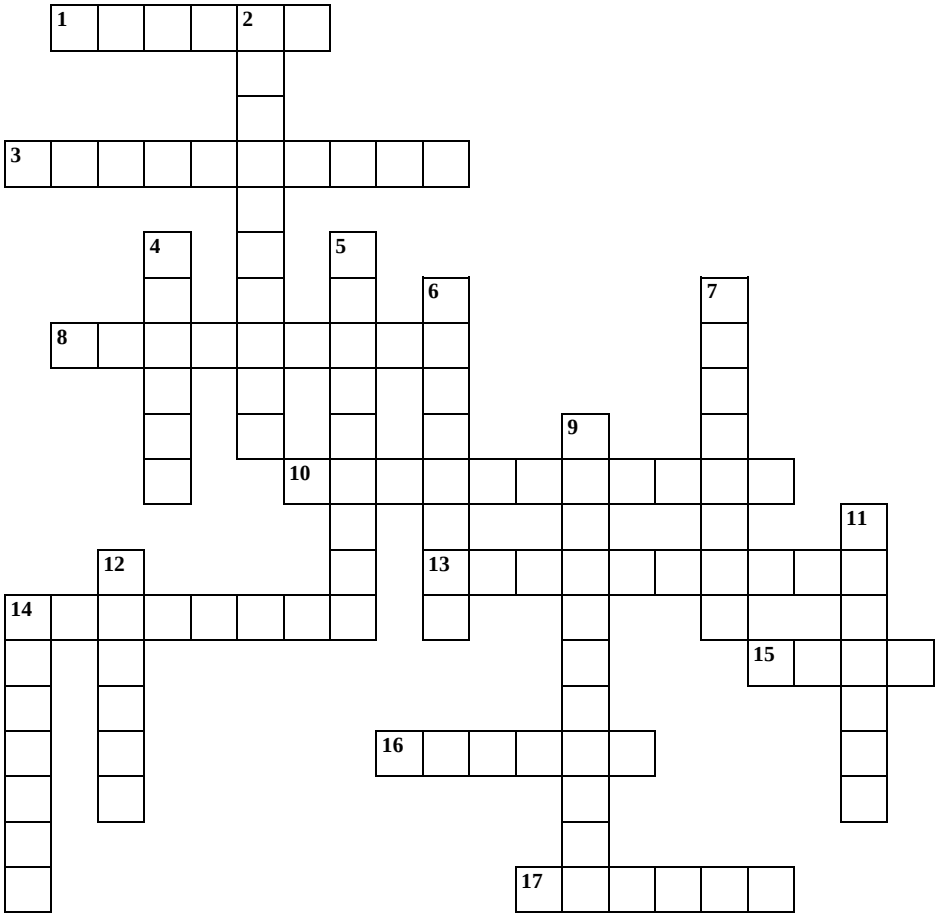
Рассмотрите три случая:
1) движение равномерное,
2) движение равноускоренное,
3) движение равнозамедленное.

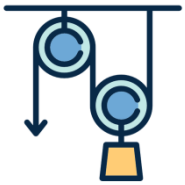




Задание 2.7.14. Разгадайте кроссворд на тему «Кинематика».
По горизонтали: **1.** Единица времени, которая не входит в систему СИ. **3.** Движение, при котором тело за равные промежутки времени совершает неодинаковые перемещения. **8**. Физическая величина, которая показывает, как быстро изменяется скорость за единицу времени. **10.** Движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. **13.** Раздел физики, который изучает виды механического движения. **14.** Траектория движения тела, брошенного горизонтально. **15.** Длина траектории. **16.** Движение тела вверх. **17.** Время, за которое тело совершает один полный оборот по окружности.

По вертикали: **2.** Линия, по которой движется тело. **4.** Пространство, где нет воздуха. **5.** Постоянная физическая величина. **6.** Часть физики, которая изучает законы механического движения. **7.** Физическая величина, которая определяет направление и быстроту перемещения тела в пространстве. **9.** Вектор, который соединяет начальное и конечное положение тела. **11.** Число полных оборотов за единицу времени. **12.** Линия, которая показывает зависимость одной физической величины от другой. **14.** Движение тела вниз к Земле.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17



Раздел 3. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Тема 3.1. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
дина́мика	пло́тность
грани́цы примене́ния	ине́ртность
скорость света	инерция
компенси́роваться	инерциа́льный
возде́йствие	неинерциа́льный
одноро́дные тела́	связан, связана, связано, связаны *с чем? (Т.п.)*

Прочитайте и запомните.

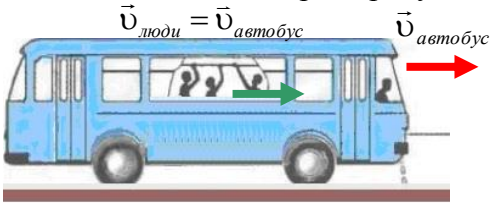
скомпенсировано = уравновешено

Что (И.п.) **связано с** *чем (Т.п.)*
Система отсчёта **связана с** автобусом.

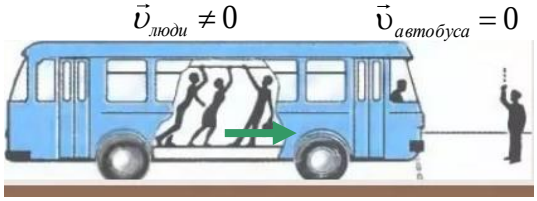
Прочитайте материал к уроку.

Динамика – это часть механики, которая изучает причины движения тела. В основе классической механики лежат три закона Ньютона. Классическая механика имеет границы применения: она изучает движение тел со скоростями значительно меньше скорости света.

Системы отсчёта, в которых тело (материальная точка) движется равномерно и прямолинейно или покоится, называют инерциальными системами отсчёта. Любая другая система отсчёта, которая движется относительно инерциальной системы отсчёта прямолинейно и равномерно, также является инерциальной системой отсчёта. Рассмотрите рисунки.



Инерциальная система отсчёта



Неинерциальная система отсчёта

Автобус движется равномерно и прямолинейно с постоянной скоростью $\vec{\upsilon}$. На людей в автобусе действуют Земля и пол, действие этих тел компенсируется, поэтому люди также движутся со скоростью автобуса $\vec{\upsilon}$. Система отсчёта, которая связана с автобусом, является инерциальной системой отсчёта.

Автобус резко останавливается, и система отсчёта, которая связана с автобусом, является уже неинерциальной. Люди продолжают двигаться в прежнем направлении, так как сохраняют свою скорость $\vec{\upsilon}$. **Свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называют инертностью.** Инертность характеризует способность тела менять свою скорость.

При одинаковом воздействии (например, при резкой остановке автобуса) разные тела (люди) не одинаково изменяют скорость своего движения. Это зависит от свойств самого тела – его **массы**. Масса тела является мерой инертности тела. Масса в системе СИ измеряется в килограммах: $[m]$ = 1 кг.

Однородные тела имеют массу, пропорциональную объёму тела (V). Плотность – это масса вещества, которая содержится в единице объёма: $\rho = \frac{m}{V}$. Плотность в системе СИ измеряется в килограммах на метр кубический: $[\rho]$ = 1 кг/м^3.

В кинематике часто при решении задач систему отсчёта связывают с Землёй. Эта система отсчёта, строго говоря, не является инерциальной системой отсчёта. При решении многих задач этот факт можно не учитывать, так как поправки (ошибки, которые связаны с этим) очень маленькие.

Законы Ньютона в механике являются обобщением большого числа экспериментальных данных. **Первый закон Ньютона справедлив только для инерциальных систем отсчёта.**

Первый закон Ньютона (закон инерции): в инерциальных системах отсчёта материальная точка сохраняет состояние покоя или движется равномерно и прямолинейно, если на неё не действуют другие тела или если это воздействие скомпенсировано.

ЗАПОМНИТЕ!

Первый закон Ньютона справедлив только для инерциальных систем отсчёта.

Выполните задания.

Задание 3.1.1. Ответьте на вопросы.

1. Что изучает динамика?
2. Каковы «границы» применения классической механики?
3. Что вы можете сказать об инерциальной системе отсчёта?
4. Какая система отсчёта является неинерциальной?
5. Что характеризует инертность?
6. Что такое масса? В каких единицах в системе СИ измеряется масса?
7. Какие внесистемные единицы массы вы знаете?
8. Сформулируйте первый закон Ньютона.

Задание 3.1.2. Напишите слова в нужных формах.
Слова: содержаться, покоиться, зависеть, двигаться, измеряться, действовать.

1. Системы отсчёта, в которых тело (материальная точка) ……. равномерно и прямолинейно или ……., называют инерциальными системами отсчёта.
2. Скорость движения тела ……. от его массы.
3. Масса в системе СИ ……. в килограммах.
4. Плотность – это масса вещества, которая ……. в единице объёма.
5. На людей в автобусе ……. Земля и пол.

Задание 3.1.3. Измените предложения. Используйте конструкцию *Чем называют что*.

1. Плотность – это масса вещества, которая содержится в единице объёма.
2. Инертность – это свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.
3. Динамика – это часть механики, которая изучает причины движения тела.
4. Инерциальная система отсчёта – это система отсчёта, в которой тело движется равномерно и прямолинейно или покоится.

Тема 3.2. Сила

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
де́йствие	равноде́йствующая сила
де́йствовать *на что? (В.п.)*	равнове́сие
взаимоде́йствие *чего? (Р.п.) с чем? (Т.п.)*	графи́ческое изображе́ние
взаимоде́йствовать	всеми́рное тяготе́ние
си́ла	си́ла всеми́рного тяготе́ния
по́ле	тя́жесть
разме́р	си́ла тя́жести
фо́рма	тре́ние
деформи́роваться	си́ла тре́ния
деформа́ция *чего? (Р.п.)*	упру́гость
гравитацио́нный	си́ла упру́гости
электромагни́тный	

Прочитайте и запомните.

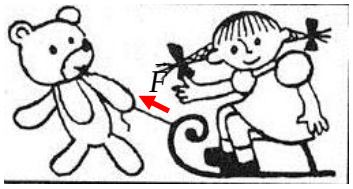
астрономическое тело = Солнце, Луна
пренебрежимо мало = очень маленькое

Под действием силы + тело + *глагол*
Под действием силы тело деформируется.

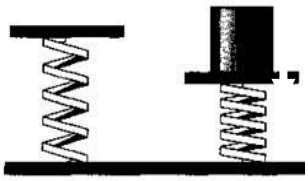
Что (И.п.) **действует на** *что (В.п.)*
Сила **действует на** тело.

Прочитайте материал к уроку.

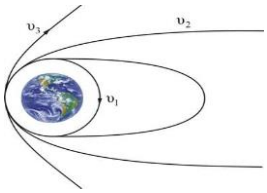
Для описания механического взаимодействия одного тела с другим или тела с полем вводят понятие силы ($\vec{F}$). Под действием силы тело может либо изменять свою скорость (приобретать ускорение), либо изменять свою форму и размеры (то есть деформироваться).



Тело приобретает ускорение под действием силы $\vec{F}$

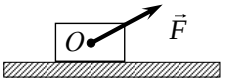


Тело деформируется под действием силы $\vec{F}$



Тело движется в поле тяжести Земли

Сила – это векторная физическая величина, которая является мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет форму и размеры.

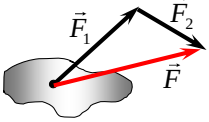


В любой момент времени сила характеризуется числовым значением $\vec{F}$, направлением в пространстве (которое указывает стрелка вектора) и точкой приложения *O*.

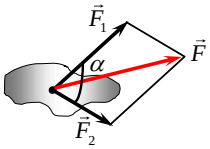
Сила в системе СИ измеряется в ньютонах: [*F*] = Н. Один ньютон – это сила, которая массе 1 кг сообщит ускорение 1 м/с^2 в направлении действия силы: $\text{Н} = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

Равнодействующая сила

Если на тело действует несколько сил, то их можно сложить и заменить одной силой, которую называют равнодействующей (или результирующей).



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



Графически равнодействующую силу ($\vec{F}$) можно найти по правилу сложения векторов: треугольника или параллелограмма. Модуль вектора результирующей силы:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}.$$

Любую силу можно разложить на составляющие, то есть представить в виде суммы сил. Например, сила $\vec{F}$ направлена под углом α к горизонту. Найдём проекцию силы $\vec{F}$ на оси *OX* и *OY*.

Дано:

$\vec{F}$

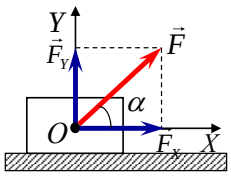
α

Найти:

$\vec{F}_x - ?$

$\vec{F}_y - ?$

Решение:



$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$

$\vec{F}_x$ – горизонтальная составляющая силы $\vec{F}$,

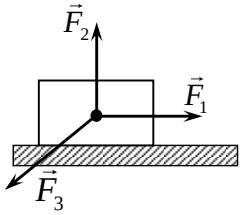
$F_x = F\cdot\cos\alpha$ – проекция силы $\vec{F}$ на ось *OX*,

$\vec{F}_y$ – вертикальная составляющая силы $\vec{F}$,

$F_y = F\cdot\sin\alpha$ – проекция силы $\vec{F}$ на ось *OY*.

Ответ: $F_x = F\cdot\cos\alpha$, $F_y = F\cdot\sin\alpha$.

Равновесие сил



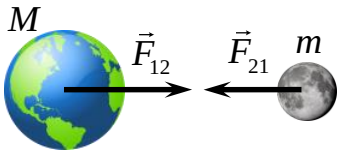
Пусть сумма сил, которые действуют на тело, равна нулю. Тогда говорят, что силы уравновешивают друг друга, а тело находится в равновесии или движется равномерно: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$. Равнодействующая сила $\vec{F}$ равна нулю.

В механике рассматривают силы, которые по своей природе имеют **гравитационный и электромагнитный характер взаимодействия. Гравитационное взаимодействие** возникает между любыми телами, которые имеют массу. Это взаимодействие существенно для астрономических тел и пренебрежимо мало для других тел. К силам гравитационного взаимодействия относят силу всемирного тяготения. Сила тяжести – это проявление сил всемирного тяготения.

Взаимодействия между частицами, которые имеют электрический заряд, относят к **электромагнитным силам**. Эти силы зависят от расстояний между частицами. К ним относят силы трения и силы упругости. Рассмотрите схемы и рисунки.

Гравитационные силы взаимодействия

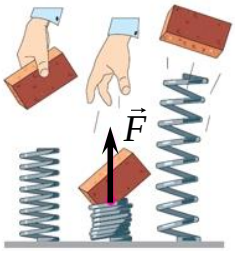
Сила всемирного тяготения – это сила, с которой все тела притягиваются друг к другу.



Сила тяжести – это сила, с которой Земля притягивает к себе тела.

Электромагнитные силы взаимодействия

Сила упругости – это сила, которая появляется при деформации тела.



Сила трения – это сила, ***которая возникает при соприкосновении поверхностей тел и препятствует их перемещению относительно друг друга.***

Выполните задания.

Задание 3.2.1. Составьте все возможные словосочетания.

начальный	величина
материальный	скорость
постоянный	точка
физический	положение
равнодействующий	движение
механический	сила

Задание 3.2.2. Выберите правильный вариант ответа.

1. Как обозначается и в чём измеряется сила в системе СИ?

(А) $[F] = 1$ кН (Б) $[F] = 1$ К (В) $[P] = 1$ Н (Г) $[F] = 1$ Н

2. Как обозначается и в чём измеряется масса в системе СИ?

(А) $[m] = 1$ км (Б) $[m] = 1$ кг (В) $[M] = 1$ кг (Г) $[M] = 1$ Н

3. Силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ приложены к одной точке тела, угол между векторами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ равен 90°. Чему равен модуль равнодействующей этих сил?

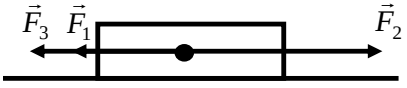
(А) $F_2 - F_1$ (Б) $F_1 + F_2$ (В) $\sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ (Г) $\sqrt{F_1^2 - F_2^2}$

4. Какое из выражений соответствует единице силы, выраженной через основные единицы СИ?

(А) (кг·м^2)/с (Б) (кг·м)/с (В) (кг·м)/с^2

Задание 3.2.3. На тело действуют две силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ в противоположных направлениях. Определите равнодействующую силу, если $F_1 = 4$ Н, а $F_2 = 9$ Н.

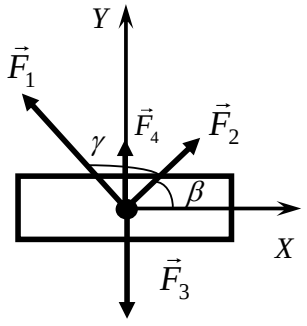
Задание 3.2.4. Определите равнодействующую силу, если на тело действуют силы $F_1 = 5$ Н, а $F_2 = 20$ Н и $F_3 = 10$ Н, как показано на рисунке.



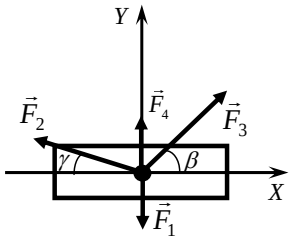
Задание 3.2.5. Решите задачу. На тело действуют две силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ в противоположных направлениях. Определите равнодействующую силу, если: 1) $F_1 = 8$ Н, $F_2 = 12$ Н; 2) $F_1 = 25$ Н, $F_2 = 7$ Н.

Задание 3.2.6. Решите задачу в тетради.

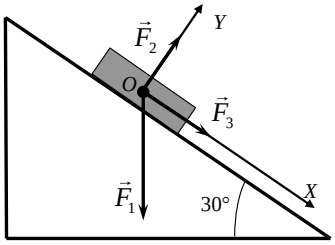
На тело действуют силы $F_1 = 5$ Н, $F_2 = 3$ Н, $F_3 = 10$ Н и $F_4 = 1$ Н под углом друг к другу, как показано на рисунке. Углы $\gamma = 90°$, $\beta = 45°$. Найдите проекции равнодействующей силы на оси *OX* и *OY*. Найдите результирующую силу.



Задание 3.2.7. Решите задачу в тетради.
На тело действуют силы $F_1 = 10$ Н, $F_2 = 25$ Н, $F_3 = 50$ Н и $F_4 = 2$ Н. Углы $\gamma = 30°$, $\beta = 60°$. Найдите проекции равнодействующей силы на оси *OX* и *OY*. Найдите результирующую силу.



Задание 3.2.8. Решите задачу в тетради.
Тело находится на наклонной плоскости. Угол наклона плоскости к горизонту равен 30°. На тело действуют силы $F_1 = 50$ Н, $F_2 = 25$ Н, $F_3 = 10$ Н. Разложите силы на составляющие по осям *OX* и *OY*.



Тема 3.3. Второй закон Ньютона

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

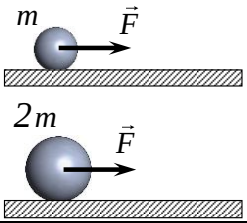
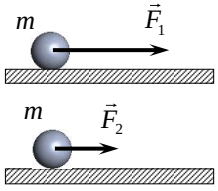
Новые слова и словосочетания	
де́йствующая сила динамо́метр	взаи́мный хара́ктер брусо́к па́ра (два)

Прочитайте и запомните!

пара сил = две силы

Прочитайте материал к уроку.

В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое приобретает тело, зависит от действующей силы. На рисунке представлен эксперимент, рассмотрите его.

<table>
<tr>
<td> 
</td>
<td>Пусть на тела разной массы (m и 2m) действует одинаковая сила $\vec{F}$, тогда тела приобретут разное ускорение: $\vec{a}_1 \neq \vec{a}_2$. Ускорение направлено в ту же сторону, что и действующая сила.</td>
<td rowspan="2">Вывод:
Ускорение, которое приобретает тело, зависит от действующей силы и его массы.</td>
</tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td>Если на тела одинаковой массы (m и m) действуют разные силы ($\vec{F}_1 \neq \vec{F}_2$), то тела приобретают разные ускорения: $\vec{a}_1 \neq \vec{a}_2$.</td>
</tr>
</table>

На основе экспериментальных данных был сформулирован один из важнейших законов механики – **второй закон Ньютона.**

ЗАПОМНИТЕ!

Второй закон Ньютона: ускорение тела прямо пропорционально векторной сумме всех сил, действующих на тело, и обратно пропорционально массе тела:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} \text{ или } \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

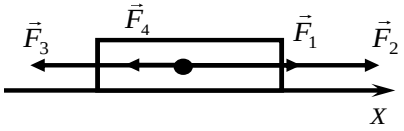
Пример. На тело действуют три силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ и $\vec{F}_4$, как показано на рисунке. Определите ускорение, с которым движется тело.

Дано:
$\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$,
$\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$

Найти:
$a - ?$

Решение:

Даны три силы, которые действуют на тело. Надо найти ускорение тела.



Выберем направление оси X. Используя II закон Ньютона, запишем уравнение динамики равноускоренного прямолинейного движения тела в векторной форме: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = m\vec{a}$.

Найдём проецию сил на ось X: $F_1 + F_2 - F_3 - F_4 = ma$.

Тогда $a = \frac{(F_1 + F_2 - F_3 - F_4)}{m}$.

Ответ: $a = \frac{(F_1 + F_2 - F_3 - F_4)}{m}$.

Выполните задания.

Задание 3.3.1. Выберите правильный вариант ответа.

1. Мяч массой 0,15 кг летит вертикально вниз равноускоренно. Равнодействующая всех сил, приложенных к мячу, равна 1,5 Н и направлена вниз. Чему равно и как направлено ускорение мяча?

(А) 10 м/с^2, вверх (Б) 10 м/с^2, вниз
(В) 0,1 м/с^2, вверх (Г) 0,1 м/с^2, вниз

2. С каким ускорением движется тело массой 500 г под действием силы 4 Н?

(А) С ускорением 2 м/с^2 (Б) С постоянной скоростью 0,125 м/с
(В) С постоянным ускорением 8 м/с^2 (Г) С постоянной скоростью 2 м/с

3. Тело массой 200 г движется равномерно со скоростью 5 м/с. Чему равна равнодействующая сила, приложенная к данному телу?

(А) 0 Н (Б) 40 Н (В) 4 Н (Г) 0,4 Н

Задание 3.3.2. Решите задачу.

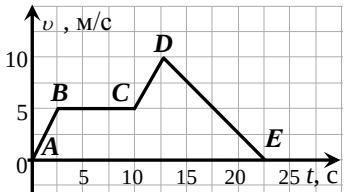
Тело массой 5 кг движется под действием силы с ускорением 10 м/с^2. Определите модуль силы.

Задание 3.3.3. Решите задачу.
Тело массой 10 кг начинает двигаться под действием силы 100 Н. Через сколько времени скорость тела станет 20 м/с? В какой момент времени скорость тела равна 40 м/с?

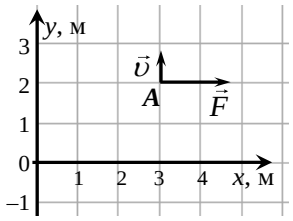
Задание 3.3.4. Решите задачу.
На тело, масса которого 5 кг, действует сила. В результате тело получает ускорение 0,5 м/с^2. Какое ускорение сообщит эта сила телу массой 10 кг?

[$a = 0,25$ м/с^2]

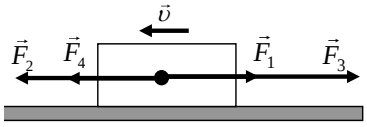
Задание 3.3.5. Решите задачу.
На рисунке дан график изменения скорости от времени для тела массой 2 кг. Найдите силу, действующую на тело на каждом участке движения.



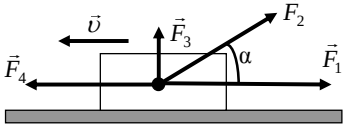
Задание 3.3.6. Решите задачу.
Материальная точка массой 1 кг свободно движется по гладкой горизонтальной плоскости параллельно оси *OY* со скоростью $\upsilon = 1$ м/с. В момент времени $t = 0$ с, когда тело находилось в точке *A*, на него начинает действовать сила $\vec{F}$, модуль которой равен 2 Н. Чему равны координаты этого тела в момент времени $t = 3$ с?



Задание 3.3.7. Решите задачу.
Тело массой 2 кг движется под действием сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ и $\vec{F}_4$, как показано на рисунке. Найдите ускорение тела, если $|\vec{F}_1| = 25$ Н, $|\vec{F}_2| = 10$ Н, $|\vec{F}_3| = 5$ Н и $|\vec{F}_4| = 30$ Н.



Задание 3.3.8. Решите задачу.
Тело массой 1 кг движется, как показано на рисунке, под действием четырех сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ и $\vec{F}_4$. Найдите ускорение тела, если угол $\alpha = 30°$.

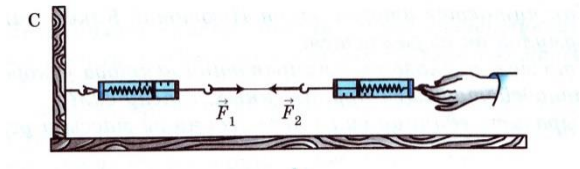


Тема 3.4. Третий закон Ньютона

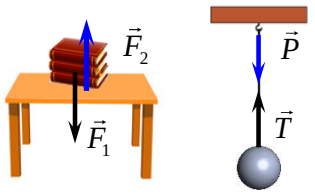
Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
подве́шенный величина́ ра́вные по величине́	динамо́метр уравнове́шивать – уравнове́сить

Прочитайте материал к уроку.



Рассмотрите рисунок. Пусть первое тело (динамометр 1) действует на второе (динамометр 2), тогда второе тело будет действовать на первое.



Действие тел имеет взаимный характер, и возникает пара сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. **Силы в природе всегда возникают парами.** Например, книга лежит на столе, шарик подвешен на нити и т. д. Рассмотрите рисунки. На основе таких экспериментов был сформулирован **третий закон Ньютона**.

ЗАПОМНИТЕ!

Третий закон Ньютона: два тела взаимодействуют с силами, равными по величине, но противоположными по направлению: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Силы, о которых говорится в третьем законе Ньютона, приложены к разным телам, поэтому они не могут уравновесить друг друга!

Выполните задания.

Задание 3.4.1. Ответьте на вопросы.

1. В какой системе отсчёта выполняются законы Ньютона?
2. Сформулируйте второй закон Ньютона.
3. Сформулируйте третий закон Ньютона.
4. Могут ли уравновесить друг друга силы взаимодействия в третьем законе Ньютона?

Задание 3.4.2. Выберите правильный вариант ответа.

1. На тело не действуют другие тела. В каком состоянии находится тело?
   (А) Тело находится в состоянии покоя.
   (Б) Тело движется равномерно.
   (В) Тело движется равномерно или покоится.

2. Машина движется прямолинейно с постоянной скоростью.
   (А) На машину не действуют другие тела.
   (Б) Равнодействующая всех приложенных к машине сил равна нулю.
   (В) Ускорение машины постоянно и отлично от нуля.

3. Автомобиль движется по прямолинейному участку шоссе с постоянной скоростью. Какой вывод можно сделать о равнодействующей всех сил, действующих на автомобиль?

(А) равнодействующая всех сил равна нулю

(Б) равнодействующая всех сил направлена по скорости движения автомобиля

(В) равнодействующая всех сил направлена против скорости движения автомобиля

4. Равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна нулю. Какова траектория движения этого тела?

(А) парабола (Б) окружность (В) прямая

5. В каком физическом законе говорится, что действие одного тела на другое имеет взаимный характер?

(А) В первом законе Ньютона.

(Б) Во втором законе Ньютона.

(В) В третьем законе Ньютона.

6. Известно, что масса Земли в 81 раз больше массы Луны. Если Земля притягивает Луну с силой F, то Луна притягивает Землю с силой …

(А) $81F$. (Б) $F/81$. (В) F. (Г) $F = 0$.

Задание 3.4.3. Решите задачу.

Два человека тянут верёвку в противоположные стороны с силой по 60 Н каждый. Верёвка выдерживает натяжение силой 100 Н. Разорвётся ли верёвка?

Задание 3.4.4. Решите задачу.

Земля притягивает к себе книгу с силой 3 Н. С какой силой эта книга притягивает к себе Землю?

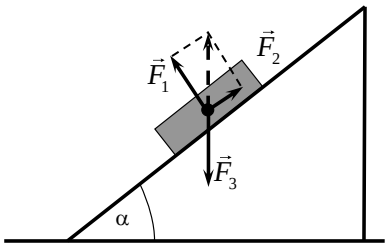
Задание 3.4.5. Решите задачу.

Человек медленно поднимает гирю с силой 100 Н. С какой силой гиря действует на руку человека?

Задание 3.4.6. Решите задачу.

Тело находится на наклонной плоскости. На него действуют три силы: $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_3$. Модуль силы $\left|\vec{F}_3\right| = 3$ Н. Чему равен модуль равнодействующей сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, если тело покоится?

[3 Н]



Тема 3.5. Импульс. Закон сохранения импульса

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
и́мпульс	абсолю́тно упру́гий уда́р
сохране́ние и́мпульса	абсолю́тно неупру́гий уда́р
за́мкнутая систе́ма	раке́та
вну́тренние си́лы	газ
вне́шние си́лы	дви́гатель
столкнове́ние = уда́р	грузови́к
центра́льный уда́р	то́пливо
ударя́ться	пу́шка
соударя́ться	снаря́д
соуда́рение	оско́лок

Прочитайте материал к уроку.

Рассмотрим тело массой m, на которое в течении времени Δt действует сила $\vec{F}$. Скорость движения тела изменилась от υ_0 до υ, тогда ускорение тела равно: $\vec{a} = (\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0)/\Delta t$. По II закону Ньютона сила равна: $\vec{F} = m\vec{a}$, тогда $\vec{F} = \dfrac{m(\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0)}{\Delta t}$, $\Rightarrow$

$$\vec{F}\Delta t = m(\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0).$$

Физическая величина, равная произведению силы $\vec{F}$, действующей на тело, на время её действия Δt, называется импульсом силы: $\vec{F}\Delta t$.

Произведение массы тела на скорость тела называют импульсом тела, или количеством движения, и обозначают:

$$\boxed{\vec{p} = m\vec{\upsilon}}.$$

Направление импульса тела совпадает с направлением скорости тела. В системе СИ за единицу импульса принят импульс тела массой 1 кг, движущегося со скоростью 1 м/с. Единицей измерения импульса в СИ является килограмм на метр в секунду: [p] = кг·м/с.

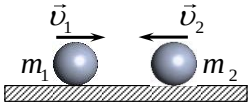
Полученное выражение запишем:

$$\boxed{\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}} \text{ или } \boxed{\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}}.$$

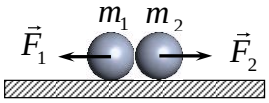
Скорость изменения импульса тела равна действующей на тело силе. Это формулировка **второго закона Ньютона**.

Если на тело не действует сила ($\vec{F} = 0$), тогда $\Delta p = 0$, следовательно, $\upsilon_0 = \upsilon$, то есть тело движется с постоянной скоростью. Это согласуется с первым законом Ньютона.

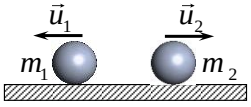
Рассмотрим два тела массами m_1 и m_2, которые будут взаимодействовать друг с другом. Скорости тел до взаимодействия $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$. После взаимодействия в течение времени Δt скорости равны $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$. Рассмотрите картинки.



до взаимодействия



взаимодействие



после взаимодействия

Предположим, что **взаимодействие** происходит **только между телами**. Такая **система тел** называется **замкнутой.** Силы взаимодействия внутри такой системы называются внутренними. При столкновении силы взаимодействия большие, поэтому внешними силами можно пренебречь и рассматривать систему тел как замкнутую систему. Если взаимодействие происходит с внешними телами (соответственно внешние силы), то система является **незамкнутой**.

Пусть тела взаимодействуют внутри замкнутой системы друг с другом с силами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

По II закону Ньютона силы взаимодействия равны:

$$\vec{F}_1 = m_1(\vec{u}_1 - \vec{\upsilon}_1)/\Delta t, \quad \vec{F}_2 = m_2(\vec{u}_2 - \vec{\upsilon}_2)/\Delta t .$$

Согласно III закону Ньютона, эти силы равны и противоположны по направлению: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$, тогда $m_1(\vec{u}_1 - \vec{\upsilon}_1)/\Delta t = -m_2(\vec{u}_2 - \vec{\upsilon}_2)/\Delta t$.

$$m_1(\vec{u}_1 - \vec{\upsilon}_1) = -m_2(\vec{u}_2 - \vec{\upsilon}_2) .$$

Преобразуем выражение:

$$\boxed{m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2},$$

где $\vec{p}_1 = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2$ – импульс системы тел до взаимодействия, $\vec{p}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$ – импульс системы тел после взаимодействия,

$$\vec{p} = \text{const}.$$

ЗАПОМНИТЕ!

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы тел до взаимодействия равен импульсу системы тел после взаимодействия. Изменение импульса в замкнутой системе остается постоянным.

Удар – это столкновение двух или более тел, при котором время взаимодействия стремится к нулю. **Удар** является **прямым, центральным**, если скорости шаров перед ударом направлены вдоль линии, соединяющей центры шаров. Существует две модели типов удара: абсолютно упругий и абсолютно неупругий.

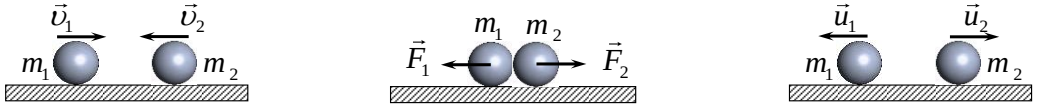
Абсолютно неупругий удар – это столкновение тел, после которого взаимодействующие тела движутся как единое целое или останавливаются. Рассмотрите рисунки.

до удара | абсолютно неупругий удар $t \to 0$ | после удара

Пусть два тела массами m_1 и m_2 движутся до удара со скоростями $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$, а после удара со скоростями $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$. При абсолютно неупругом ударе выполняется закон сохранения импульса:

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = (m_1+m_2)\vec{u}.$$

Абсолютно упругим ударом называется такой удар, при котором механическая энергия соударяющихся тел не преобразуется в другие виды энергии. После соударения тела движутся с различными скоростями.

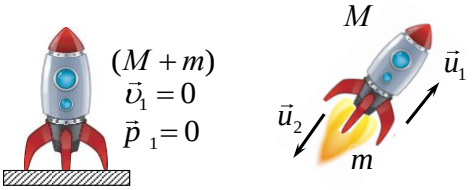


до удара | абсолютно упругий удар | после удара

При абсолютно упругом ударе выполняется закон сохранения импульса:

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2,$$

Это очень важный закон, который применяют в технике, например, в работе реактивных двигателей. Принцип работы реактивного двигателя заключается в следующем.



до старта | после старта

Ракета состоит из корпуса массой M и топлива массой m. Внутри корпуса сгорает топливо. Образуются газы, которые выбрасываются из ракеты. Скорость газов $\vec{u}_1$, а скорость ракеты $\vec{u}_2$. Запишем закон сохранения импульса. Ракета до старта покоилась, следовательно, $p_1 = 0$.

Импульс системы тел после взаимодействия: $\vec{p}_2 = M\vec{u}_2 + m\vec{u}_1$. Найдем проекцию импульсов на ось движения ракеты и определим скорость ракеты: $u_2 = u_1 m/M$.

Пример 1. Легковой автомобиль и грузовик движутся со скоростями υ_1 = 108 км/ч и υ_2 = 54 км/ч соответственно. Масса грузовика 3 т. Какова масса легкового автомобиля, если импульс грузовика больше импульса легкового автомобиля в 1,5 раза?

Дано:	**СИ**	**Решение:**
υ_1 = 108 км/ч	30 м/с	Импульс автомобиля: $\vec{p}_1 = m_1\vec{\upsilon}_1$,
υ_2 = 54 км/ч	15 м/с	импульс грузовика: $\vec{p}_2 = m_2\vec{\upsilon}_2$.
m_2 = 3 т	3000 кг	По условию задачи $p_2 = 1{,}5p_1$, тогда $m_2\upsilon_2 = 1{,}5m_1\upsilon_1$.
$p_2 = 1{,}5 \cdot p_1$		Найдём $m_1 = m_2\upsilon_2 / (1{,}5\upsilon_1) = 1000$ кг.
Найти:		Ответ: $m_1 = 1000$ кг.
m_1 – ?		

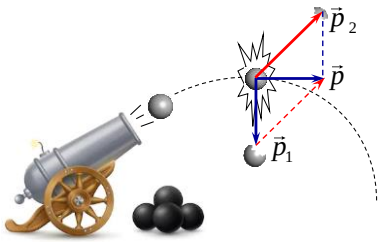
Пример 2. Снаряд, который имел в верхней точке траектории импульс p, разорвался на два осколка. Один из осколков полетел вертикально вниз с импульсом p_1. Определите импульс второго осколка.

Дано:
p
p_1

Найти:
$p_2 - ?$

Решение:

В верхней точке траектории скорость и импульс снаряда перед разрывом направлены горизонтально. В момент разрыва снаряда система является замкнутой, так как силы взаимодействия больше силы тяжести. Следовательно, выполняется закон сохранения импульса: $\vec{p} = \text{const}$, $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.



Найдём импульс системы в скалярном виде из прямоугольного треугольника: $p_2^2 = p_1^2 + p^2 \Rightarrow p_2 = \sqrt{p^2 + p_1^2}$.

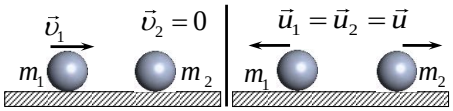
Ответ: $p_2 = \sqrt{p^2 + p_1^2}$.

Пример 3. Шар массой m_1 движется со скоростью υ_1 = 10 м/с и соударяется абсолютно упруго с покоящимся шаром массой m_2. Определите отношение масс m_2/m_1, если столкновение происходит вдоль прямой по их движению и шары разлетелись с одинаковыми скоростями u = 20 м/с.

Дано:
$\upsilon_1 = 10$ м/с
$\upsilon_2 = 0$ м/с
$u_1 = u_2 = u = 20$ м/с

Найти:
$m_2/m_1 - ?$

Решение:



Удар шаров является центральным, абсолютно упругим. Запишем закон сохранения импульса для этого удара:

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2.$$

Найдём проекцию импульсов на ось OX. Ось OX направлена по скорости υ_1: $m_1\upsilon_1 = -m_1u_1 + m_2u_2 = u(m_2 - m_1)$.

$$\frac{\upsilon_1}{u} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} = \frac{m_2}{m_1} - 1 \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{\upsilon_1}{u} + 1 = \frac{10}{20} + 1 = 1{,}5.$$

Ответ: $\frac{m_2}{m_1} = 1{,}5$.

Выполните задания.

Задание 3.5.1. Ответьте на вопросы.

1. Что такое импульс силы?
2. Что такое импульс тела? В каких единицах измеряется импульс тела?
3. Сформулируйте второй закон Ньютона.
4. Какая система тел называется замкнутой? Какие силы являются внутренними?
5. Сформулируйте закон сохранения импульса.
6. Какой удар является абсолютно неупругим? Запишите закон сохранения импульса для этого удара.

7. Какой удар является абсолютно упругим? Запишите закон сохранения импульса для этого удара.

8. Расскажите о принципе работы реактивного двигателя.

Задание 3.5.2. Вставьте пропущенные слова в нужных формах.

Слова: скорость, двигаться, замкнутый, совпадать, столкновение, останавливаться, незамкнутый.

1. Произведение массы тела на …… тела называют импульсом тела.
2. Направление импульса тела …… с направлением скорости тела.
3. Если взаимодействие происходит только между телами, то такая система называется ……. .
4. Если взаимодействие происходит с внешними телами, то система называется ……. .
5. Удар – это …… двух или более тел, при котором время взаимодействия стремится к нулю.
6. Абсолютно неупругий удар – это столкновение тел, после которого взаимодействующие тела движутся как единое целое или …… .
7. Абсолютно упругий удар – это столкновение тел, после которого взаимодействующие тела …… с разными скоростями.

Задание 3.5.3. Выберите правильный вариант ответа.

1. Что такое импульс тела?
   (А) произведение массы тела на его скорость
   (Б) произведение ускорения тела на его массу
   (В) произведение силы на время
2. В каких единицах системы СИ измеряется импульс тела?
   (А) Н (Б) кг·м/с (В) кг/(м/с)
3. Тележка массой 200 г движется равномерно по горизонтальной поверхности стола со скоростью 2 м/с. Чему равен импульс тележки?
   (А) 0,4 кг·м/с (Б) 0,2 кг·м/с (В) 4 кг·м/с
4. Пуля массой 10 г пробивает стену. Скорость пули при этом уменьшилась с 800 до 400 м/с. Найдите модуль изменения импульса пули.
   (А) 4 кг·м/с (Б) 40 кг·м/с (В) 2 кг·м/с
5. Первое тело массой 2 кг движется со скоростью 6 м/с, второе тело покоится. После удара оба тела движутся вместе со скоростью 2 м/с. Какова масса второго тела?
   (А) 6 кг (Б) 2 кг (В) 2/3 кг (Г) 4 кг
6. Шарик массой $\boldsymbol{m}$ движется со скоростью $\boldsymbol{\upsilon}$ и сталкивается с неподвижным шариком такой же массы $\boldsymbol{m}$. Считая удар абсолютно упругим, определите скорости шариков после столкновения.
   (А) $\upsilon_1 = 0$, $\upsilon_2 = u$ (Б) $u_1 = 0$, $u_2 = 0$ (В) $u_1 = u_2$ (Г) $u = \upsilon / 2$

Задание 3.5.4. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.

Снаряд массой 40 кг, летящий горизонтально со скоростью 400 м/с, попадает в неподвижную тележку с песком массой 10 т и застревает в песке. С какой скоростью стала двигаться тележка?

[1,6 м/с]

Задание 3.5.5. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Снаряд массой 20 кг летит горизонтально вдоль железной дороги со скоростью 500 м/с, попадает в вагон с песком массой 10 т и застревает в вагоне. С какой скоростью начнёт двигаться вагон, если:

а) вагон покоился;

б) вагон двигался со скоростью 36 км/ч в том же направлении, что и снаряд;

в) вагон двигался со скоростью 36 км/ч в направлении, противоположном движению снаряда?

[а) 1 м/с; б) 11 м/с; в) 9 м/с]

Задание 3.5.6. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок к задаче.
Пушка массой 200 кг стреляет в горизонтальном направлении. Масса снаряда 20 кг, скорость снаряда 800 м/с. С какой скоростью будет двигаться пушка после выстрела?

[80 м/с]

Задание 3.5.7. Решите задачу в тетради.

Движение материальной точки массой 2 кг описывается уравнением $x = 5 - 8t + 4t^2$ (м). Найдите импульс точки через 2 с и 4 с после начала движения. Найдите силу, которая вызвала это изменение импульса.

[$p_{2c} = 16$ кг·м/с, $p_{4c} = 48$ кг·м/с, $F = 16$ Н]

Задание 3.5.8. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Пушка массой 500 кг стреляет под углом 30° к горизонту. Масса снаряда 10 кг, скорость снаряда 300 м/с. С какой скоростью будет двигаться пушка после выстрела?

[$3\sqrt{3}$ м/с]

Задание 3.5.9. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Человек массой 70 кг двигался на север со скоростью 7 км/ч, затем повернул перпендикулярно на запад. Определите направление и модуль изменения импульса.

Задание 3.5.10. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Граната массой 1 кг летела со скоростью 20 м/с и разорвалась на два осколка. Один осколок массой 0,2 кг начинает двигаться со скоростью 500 м/с в направлении полёта гранаты. В каком направлении и с какой скоростью полетит другой осколок?

[100 м/с]

Задание 3.5.11. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Летящий снаряд разорвался на осколки массами 1 кг и 2 кг. Скорости осколков равны 300 м/с и 150 м/с соответственно, угол между осколками 60°. Найдите скорость снаряда до разрыва.

[$100\sqrt{3}$ м/с]

Задание 3.5.12. Решите задачу в тетради. Сделайте рисунок.
Металлический шарик массой 20 г падает со скоростью 5 м/с, ударяется упруго о стальную плиту и отскакивает от плиты в противоположном направлении с той же по модулю скоростью. Найдите изменение импульса шарика и среднюю силу, которая вызвала это изменение, если удар длился 0,1 с.

[$\Delta p = 0,2$ кг·м/с, $F = 2$ Н]

Тема 3.6. Силы в механике

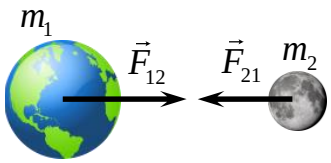
3.6.1. Сила всемирного тяготения. Сила тяжести

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
материа́льная то́чка	по́люс
притя́гиваться	звезда́
гравитацио́нная постоя́нная	астеро́ид
центр	плане́та

Прочитайте материал к уроку.

Сила всемирного тяготения – это сила, с которой все тела притягиваются друг к другу.

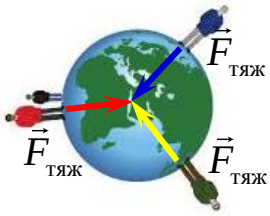


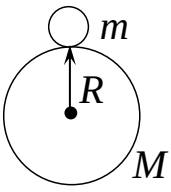
Все тела на Земле и во Вселенной притягиваются друг к другу. Закон всемирного тяготения применяют для описания этого взаимодействия и предполагают, что взаимодействующие тела являются материальными точками.

Два тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между телами:

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

где m_1, m_2 – массы тел; r – расстояние между телами; G – гравитационная постоянная (в системе СИ: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ $\frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$).

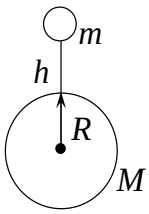




Пусть в законе Всемирного тяготения одним из взаимодействующих тел является Земля с массой $\boldsymbol{M}$ ($\boldsymbol{M}_{Земли} = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ кг) и радиусом $\boldsymbol{R}$ ($\boldsymbol{R}_{Земли} = 6371$ км). Тогда для тела $\boldsymbol{m}$, которое находится на Земле, закон будет иметь вид:

$$F = G\frac{M}{R^2}m = g \cdot m \Rightarrow \boxed{\vec{F} = m \cdot \vec{g}}.$$

Эту силу называют **силой тяжести. Сила тяжести – это сила, с которой Земля притягивает к себе тела**. Природа силы тяжести описывается гравитационным взаимодействием между телом и Землёй. Сила тяжести, которая действует на тело, направлена к центру Земли и имеет ускорение свободного падения $\vec{g}$. Известно, что Земля приплюснута у полюсов, поэтому ускорение свободного падения не является постоянной величиной на поверхности Земли. При решении задач принято считать, что $g = 9{,}8$ м/с$^2 \approx 10$ м/с^2.



Если тело удаляется от поверхности Земли на высоту h, то ускорение свободного падения убывает (соответственно, уменьшается и сила тяжести):

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

Выполните задания.

Задание 3.6.1. Ответьте на вопросы.

1. К какому виду взаимодействия относят силу всемирного тяготения?
2. Сформулируйте закон всемирного тяготения.
3. Дайте определение силы тяжести.
4. Напишите формулу ускорения свободного падения. Объясните, от чего она зависит.

Задание 3.6.2. Прочитайте формулы.

1) $g = G\dfrac{M}{(R+h)^2}$ 3) $F = G\dfrac{M}{R^2}m$

2) $mg = G\dfrac{M}{(R+h)^2}m$ 4) $F = gm$

Задание 3.6.3. Выберите правильный вариант ответа.

1. По какой формуле можно вычислить силу притяжения, которая действует со стороны Луны на Землю, если R – расстояние между ними.

(А) $G\dfrac{mM}{R^2}$ (Б) $G\dfrac{M}{R}$ (В) $G\dfrac{mM}{R}$ (Г) $G\dfrac{M}{R^2}$

2. Расстояние между центрами двух шаров равно 1 м. Масса каждого шара 1 кг. Чему равна сила тяготения между шарами?

(А) 1 Н (Б) 0,001 Н (В) $7\cdot10^{-5}$ Н (Г) $6{,}67\cdot10^{-11}$ Н

3. Два маленьких шарика массой m каждый находятся на расстоянии r друг от друга и притягиваются с силой F. Какова сила гравитационного притяжения двух других шариков, если масса каждого из них – $0{,}5m$, а расстояние между их центрами $2r$?

(А) F /4 (Б) F/2 (В) F/8 (Г) F/16

4. Радиус планеты меньше радиуса Земли в 3 раза. Чему равна масса планеты, если сила тяжести тела на её поверхности равна силе тяжести этого тела на поверхности Земли (масса Земли равна M).

(А) M/3 (Б) M (В) M/9 (Г) 9M

5. Мальчик массой 50 кг совершает прыжок в высоту. Сила тяжести, которая действует на него во время прыжка, примерно равна …

(А) 500 Н (Б) 50 Н (В) 5 Н (Г) 0 Н

6. Земля притягивает к себе подброшенный мяч с силой 5 Н. С какой силой этот мяч притягивает к себе Землю?

(А) 50 Н (Б) 5 Н (В) 0,5 Н (Г) 0,05 Н

Задание 3.6.4. Решите задачу в тетради.

Как изменится сила притяжения между двумя телами, если расстояние между ними:

1) увеличить в 2 раза; 2) увеличить в 3 раза; 3) уменьшить в 2 раза.

Задание 3.6.5. Решите задачу в тетради.

Сила притяжения между двумя одинаковыми мячами равна 50 нН, расстояние между ними 5 м. Чему равна масса каждого шара?

Задание 3.6.6. Решите задачу в тетради.

Радиус Марса равен 0,53 радиуса Земли, а масса Марса равна 0,11 массы Земли. Найдите ускорение свободного падения на Марсе, если ускорение свободного падения на Земле g = 9,8 м/с^2.

[$g_{\text{М}} = 3{,}9$ м/с^2]

Задание 3.6.7. Решите задачу в тетради.

Масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, масса Луны $7{,}3 \cdot 10^{22}$ кг, расстояние между их центрами 384000 км. Найдите силу притяжения между Землёй и Луной.

[$F = 1{,}9 \cdot 10^{20}$ Н]

Задание 3.6.8. Решите задачу в тетради.

Средняя плотность Венеры 4900 кг/м^3, радиус Венеры 6200 км. Найдите ускорение свободного падения на Венере.

[$g_{\text{В}} = 8{,}5$ м/с^2]

Задание 3.6.9. Решите задачу в тетради.

Две планеты с одинаковыми массами вращаются по круговым орбитам вокруг звезды. Для первой из них сила притяжения к звезде в 4 раза меньше, чем для второй. Каково отношение радиусов орбит первой и второй планет?

[$R_1 / R_2 = 2$]

Задание 3.6.10. Решите задачу в тетради.

Сила гравитационного взаимодействия двух точечных тел равна 5 Н. Тела расположены на расстоянии четырёх метров друг от друга. Каков будет модуль силы гравитационного взаимодействия этих тел, если расстояние между ними увеличить на 1 м?

[$\left|\vec{F}\right| = 3{,}2$ Н]

Задание 3.6.11. Решите задачу в тетради.

Два искусственных спутника массами m_1 = 200 кг и m_2 = 400 кг вращаются на одной орбите вокруг Земли. Чему равно отношение скоростей этих спутников υ_2 / υ_1?

[$\upsilon_2 / \upsilon_1 = 1$]

Задание 3.6.12. Решите задачу в тетради.

Сила гравитационного взаимодействия небольших тел массами m и M, которые находятся на расстоянии R_1 = 100 км друг от друга, равна по модулю F. Сила гравитационного взаимодействия небольших тел массами $2m$ и M, которые находятся на расстоянии R_2 друг от друга, равна по модулю $F/50$. На какую величину отличаются расстояния R_1 и R_2? Ответ выразите в километрах.

[900 км]

3.6.2. Сила упругости

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
упру́гий	сжа́тие
упру́гость	сжима́ть – сжа́ть
деформа́ция	сдвиг
деформи́роваться	изги́б
деформи́ровать *что? (В.п.)*	круче́ние
пружи́на	коэффицие́нт упру́гости
пласти́ческий	же́сткость
растяже́ние	вне́шняя сила
расти́гивать – растяну́ть	

Прочитайте и заполните!

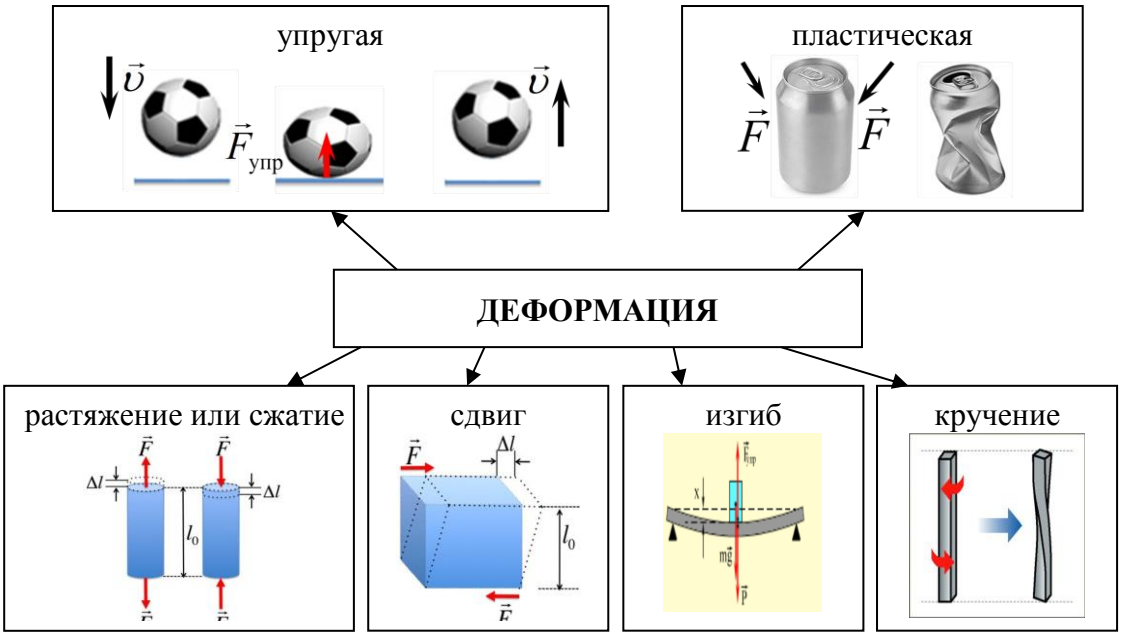
Коэффициент упругости = жёсткость

При деформации + *субъект (И.п.)* + *глагол*
При деформации форма тела изменяется.

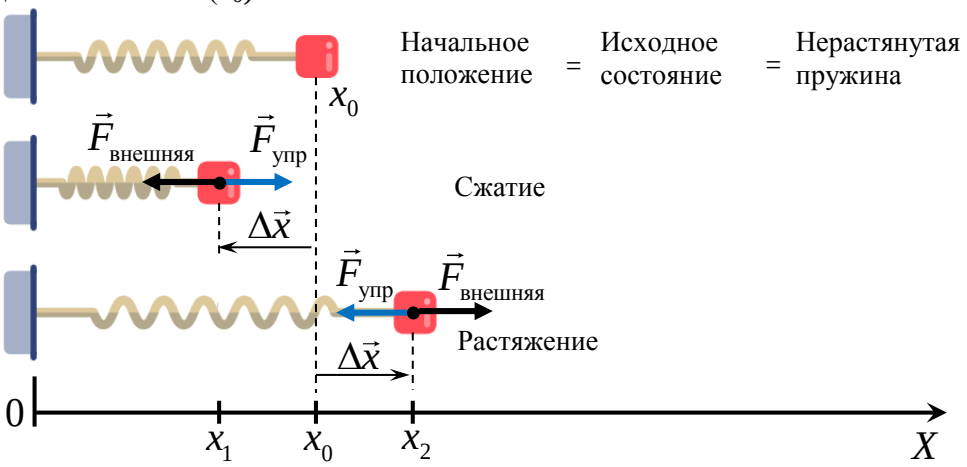
Прочитайте материал к уроку.

Рассмотрим тело, на которое действует внешняя сила. Под действием этой силы тело будет деформироваться: изменять свой размер и форму. Деформация делится на упругую и пластическую.

Упругая деформация – это деформация, при которой после прекращения действия внешней силы тело принимает свои первоначальные размеры. Внутри тела возникают **силы упругости. Сила упругости – это сила, которая появляется при деформации тела и восстанавливает первоначальные размеры и форму тела при прекращении внешнего воздействия.** Рассмотрим тело. Если на это тело действует внешняя сила, то тело деформируется. Если размеры тела остались изменёнными после прекращения действия силы, то это **пластическая деформация**. По видам деформацию делят на растяжение, сжатие, сдвиг, изгиб и кручение. Рассмотрите схему.



Рассмотрим силы, которые возникают при упругом растяжении (сжатии), например, пружины. При деформации расстояния между атомами и молекулами или частями тела изменяются. Возникает сила, которая стремится вернуть размеры тела в исходное состояние (x_0).



На рисунке изображена пружина, которую деформируют. В недеформируемом состоянии длина пружины равна x_0. При сжатии (или растяжении) пружины её длина равна x_1 (или x_2).

Перемещение конца пружины равно $\Delta x = x - x_0$, тогда модуль перемещения равен $\Delta r = |x - x_0|$. Сила упругости ($\vec{F}_{упр}$) всегда направлена против внешней силы ($\vec{F}_{внешняя}$) и старается вернуть тело в исходное положение $\vec{F}_{упр} = -\vec{F}_{внешняя}$. Из рисунка видно, что сила упругости и перемещение конца пружины направлены противоположно. Силу упругости для малых деформаций определяют по закону Гука: сила упругости прямо пропорциональна величине удлинения (или сжатия) пружины:

$$\boxed{\vec{F}_{упр} = -k \cdot \Delta\vec{x}},$$

где Δx – изменение длины (удлинение, сжатие), которое характеризует деформацию; k – коэффициент упругости пружины, или жёсткость пружины. Этот коэффициент численно равен силе, которая возникает в пружине при деформации на единицу длины. В системе СИ: **[*k*] = Н/м.**

Выполните задания.

Задание 3.6.14. Ответьте на вопросы.

1. Что такое деформация?
2. Что такое упругая деформация?
3. Что такое пластическая деформация?
4. Когда возникает сила упругости? Куда она направлена?
5. Сформулируйте закон Гука.
6. Как называется коэффициент k в законе Гука? Какие единицы измерения в системе СИ он имеет?

Задание 3.6.15. Выберите правильный вариант ответа.

1. Найдите формулу для определения силы упругости:

(А) $\vec{F} = m\vec{a}$ (Б) $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ (В) $\vec{F} = m\vec{g}$ (Г) $\vec{F} = -k\Delta\vec{x}$

2. Под действием силы 10 Н пружина удлинилась на 0,1 м. Жёсткость пружины равна

(А) 100 Н/м (Б) 0,01 Н/м (В) 0,1 Н/м (Г) 1 Н/м

3. Мальчик растянул резинку на 9 см с силой 45 Н. На какую длину растянется резинка, если мальчик будет действовать с силой 110 Н?

(А) 22 см (Б) 30 см (В) 9 см (Г) 18 см

4. На пружину действует сила 20 Н. Жёсткость пружины 200 Н/м. Чему равно изменение длины пружины?

(А) 0,5 м (Б) 0,4 м (В) 0,2 м (Г) 0,1 м

5. Пружину растянули на 5 см с силой 2 Н. Чему равна жёсткость пружины?

(А) 0,4 Н/м (Б) 4 Н/м (В) 10 Н/м (Г) 40 Н/м

6. Под действием силы 70 Н длина пружины сжалась от 20 до 17,5 см. Чему равна жёсткость пружины?

(А) 187 Н/м (Б) 2800 Н/м (В) 400 Н/м (Г) 3500 Н/м

Задание 3.6.16. Решите задачу в тетради.

Чтобы деформировать пружину на 10 см, нужна сила 50 Н. Чему равна жёсткость пружины?

Задание 3.6.17. Решите задачу в тетради.

Чтобы деформировать пружину на 5 см, необходима сила 20 Н. Какую силу нужно приложить, чтобы деформировать пружину на 12 см?

[48 Н]

Задание 3.6.18. Решите задачу в тетради.
Пружина длиной x_0 = 20 см растягивается силой F = 50 Н. Найдите конечную длину растянутой пружины, если её жёсткость 1 кН/м.

[0,25 м]

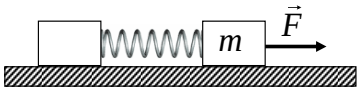
Задание 3.6.19. Решите задачу в тетради.
Две пружины растягиваются одинаковыми силами F. Жёсткость первой пружины k_1 в 2 раза меньше жёсткости второй пружины k_2. Чему равно отношение удлинений пружин $\Delta l_2/\Delta l_1$?

[0,5]

Задание 3.6.20. Решите задачу в тетради.
Нерастянутая пружина имеет длину 20 см. Для того чтобы растянуть эту пружину на 2 см, потребовалось приложить к двум её концам равные по модулю силы, направленные противоположно друг другу вдоль оси пружины. Чему станет равна длина этой пружины, если увеличить модуль каждой из приложенных сил в 5 раз, не меняя их направления? Для пружины справедлив закон Гука. Ответ дайте в см.

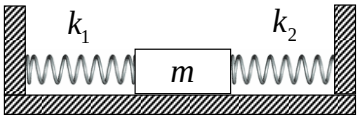
[30 см]

Задание 3.6.21. Решите задачу в тетради.
На гладкой горизонтальной поверхности лежат два бруска, соединённые лёгкой пружиной. К бруску массой m = 1 кг прикладывают постоянную силу, равную по модулю F = 5 Н и направленную горизонтально вдоль оси пружины. Определите модуль силы упругости пружины в момент, когда этот брусок движется с ускорением 0,5 м/с^2.



[4,5 Н]

Задание 3.6.22. Решите задачу в тетради.
Кубик массой 1 кг сжат с боков пружинами и находится в покое. Правая пружина жёсткостью $k_2 = 250$ Н/м сжата на 2 см. Найдите силу, которая действует на кубик со стороны левой пружины.



[5 Н]

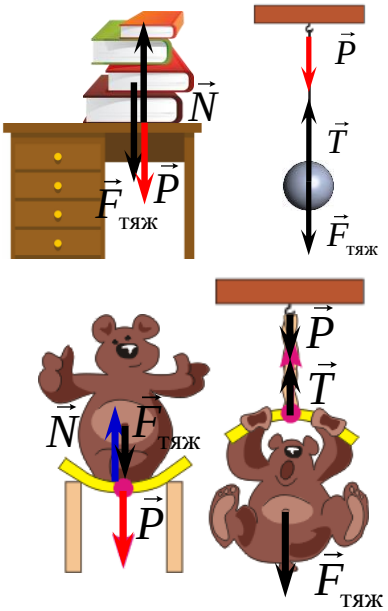
3.6.3. Вес тела. Сила реакции опоры

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

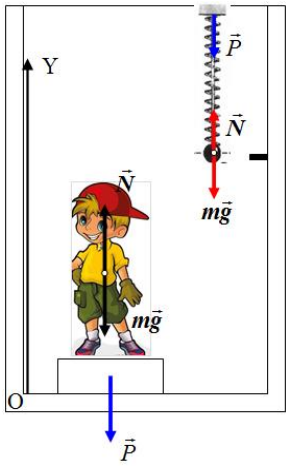
Новые слова и словосочетания	
опо́ра	лифт
подве́с	сила реа́кции опо́ры
па́дать – упасть	сила натяже́ния ни́ти
вес те́ла	нить
соответстве́нно	кана́т
груз	весы́
натяже́ние	перегру́зка
натя́гиваться	невесо́мость

Прочитайте материал к уроку.

Под действием силы тяжести все тела падают на Землю. Если тело находится на опоре (поверхности, которая мешает телу упасть: стол, пол) или подвесе (висит на нити, пружине), то они мешают телу упасть. Тело давит на опору или подвес с силой $\vec{P}$. Эту силу называют весом. **Вес тела – это сила, с которой тело давит на опору или растягивает подвес. Вес тела всегда приложен к опоре или нити.** Что происходит с опорой? Действие тела на опору изменяет расстояние между атомами и молекулами опоры, что приводит к её деформации (сжатию или растяжению). **Сила упругости, которая действует на тело со стороны опоры перпендикулярно поверхности, называется силой реакции опоры.** Рассмотрим три примера: опора (подвес) неподвижна и движется вверх или вниз.



Эти случаи соответствуют нахождению человека (или подвесу шарика на нити) в лифте: лифт неподвижен или движется. Чтобы лучше понять различие между весом тела и силой реакции опоры, предположим, что человек находится на весах.

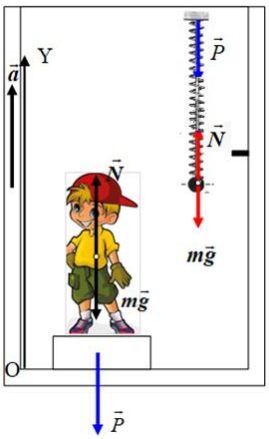


лифт неподвижен

Первый пример: лифт стоит относительно Земли. На человека действует сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$. Человек давит на опору с силой $\vec{P}$. По третьему закону Ньютона, опора давит на человека – это сила реакции опоры $\vec{N}$: $\vec{P} = -\vec{N}$. Следовательно, на человека действует две силы: сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$ и сила реакции опоры $\vec{N}$. Используя второй закон Ньютона, запишем уравнение движения тела (человека) в векторной форме: $m\vec{g} + \vec{N} = 0$. Найдём проекцию сил на ось *OY*:

$$-mg + N = 0 \;\Rightarrow\; N = mg\,.$$

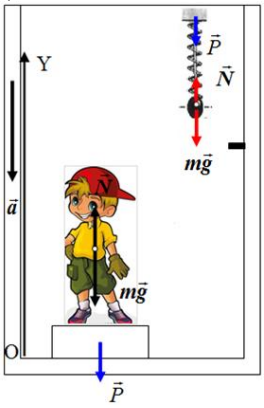
Следовательно, вес тела равен силе тяжести: $P = mg$. Запишите уравнения движения шарика самостоятельно и найдите вес шарика. Рассмотрите самостоятельно пример движения шарика в лифте, который изображен на рисунке. Запишите уравнения движения шарика и найдите его вес.



лифт движется вверх

Второй пример: лифт движется вверх относительно Земли с ускорением $\vec{a}$. На человека также действует сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$. Человек давит на опору с силой $\vec{P}$. По третьему закону Ньютона, опора давит на человека $\vec{N}$: $\vec{P} = -\vec{N}$. Следовательно, на человека действует две силы: сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$ и сила реакции опоры $\vec{N}$. Лифт (соответственно, и человек) движется вверх с ускорением $\vec{a}$. Используя второй закон Ньютона, запишем уравнение движения тела (человека) в векторной форме: $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$. Найдём проекцию сил на ось OY: $-mg + N = ma$. $\Rightarrow N = ma + mg$. Следовательно, вес тела больше силы тяжести: $P = ma + mg = m(a + g)$.

Это состояние называется **перегрузкой** и характеризуется коэффициентом перегрузки: $k = \dfrac{a+g}{g}$. Аналогично можно записать уравнения движения шарика (сделайте самостоятельно).

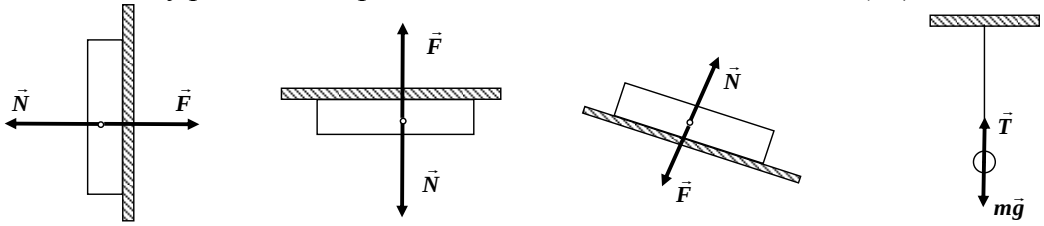


лифт движется вниз

Третий пример: лифт движется вниз относительно Земли с ускорением $\vec{a}$. На человека действует сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$. Человек давит на опору с силой $\vec{P}$. По третьему закону Ньютона, опора давит на человека $\vec{N}$: $\vec{P} = -\vec{N}$. Следовательно, на человека действует две силы: сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$ и сила реакции опоры $\vec{N}$. Лифт (соответственно, и человек) движется вниз с ускорением $\vec{a}$. Используя второй закон Ньютона, запишем уравнение движения тела (человека) в векторной форме: $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$. Найдём проекцию сил на ось OY: $-mg + N = -ma$. $\Rightarrow N = mg - ma = m(g - a)$.

Следовательно, вес тела меньше силы тяжести: $P = mg - ma$, если $g > a$. Иначе – направление сил N и P меняют свое направление. Если лифт падает, т. е. движется с ускорением $\vec{g}$, то $\vec{P} = 0$. Это состояние называют состоянием **невесомости**. Аналогично можно записать уравнения движения шарика (сделайте самостоятельно).

Во всех случаях, которые мы рассмотрели, тело находилось на горизонтальной поверхности. Как будет направлена сила нормальной реакции опоры, если тело находится на другой поверхности? Сила нормальной реакции опоры направлена перпендикулярно к поверхности, на которой находится тело. Если тело подвешено на нити, то силу реакции опоры называют силой натяжения нити ($\vec{T}$).



Выполните задания.

Задание 3.6.23. Ответьте на вопросы.

1. Дайте определение веса тела.
2. Какая сила называется силой реакции опоры, силой натяжения нити?
3. Объясните, какое состояние является состоянием невесомости.
4. От чего зависит вес тела?
5. Объясните, какое состояние является состоянием перегрузки.

Задание 3.6.24. Выберите правильный вариант ответа.

1. Сила упругости, которая действует на тело со стороны опоры перпендикулярно поверхности, называется ….

(А) силой реакции опоры (Б) весом тела (В) массой тела

2. Сила, с которой тело, которое покоится относительно Земли, давит на горизонтальную опору или растягивает вертикальную нить, называется ….

(А) весом тела (Б) силой реакции опоры (В) силой тяжести

3. Сила тяжести и вес – … силы.

(А) одинаковые по направлению, но приложены к разным телам
(Б) одинаковые
(В) противоположные по направлению

4. На тело действуют сила тяжести 40 Н и сила 30 Н, направленная горизонтально. Чему равен модуль равнодействующей этих сил?

(А) 50 Н (Б) 10 Н (В) 70 Н (Г) 1200 Н

5. Лифт движется вниз с ускорением 1 м/с^2. Определите вес тела, которое находится в лифте, если его масса 1 кг (g = 10 м/с^2).

(А) 11 Н (Б) 10 Н (В) 1 Н (Г) 9 Н

Задание 3.6.25. Решите задачу.

На полу лифта лежит груз массой 100 кг. Найдите вес этого груза, если:

1) лифт поднимается вертикально вверх с ускорением 0,3 м/с^2;
2) лифт движется равномерно;
3) лифт опускается вертикально вниз с ускорением 0,3 м/с^2;
4) лифт свободно падает.

Задание 3.6.26. Решите задачу в тетради.

В лифте, который движется вниз с ускорением 2 м/с^2, находится гиря массой 16 кг. Определите вес гири.

[128 Н]

Задание 3.6.27. Решите задачу в тетради.

Тело массой 50 кг равноускоренно поднимают вверх при помощи верёвки в течение 2 с на высоту 10 м. Найдите силу натяжения верёвки.

[750 Н]

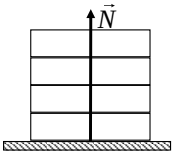
Задание 3.6.28. Решите задачу в тетради.
Груз массой 20 кг равноускоренно поднимается с Земли при помощи каната на высоту 50 м. Сколько времени поднимали груз? Сила натяжения каната 300 Н.

[4,5 с]

Задание 3.6.29. Решите задачу в тетради.
Космический корабль начинает двигаться с поверхности Земли вертикально вверх с ускорением 15 м/с^2. Чему равен вес космонавта при старте, если масса его равна 80 кг? Какую перегрузку испытывает космонавт?

[2000 Н, 2,5]

Задание 3.6.30. Решите задачу в тетради.
Четыре одинаковых кирпича массой 3 кг каждый сложены в стопку. На сколько увеличится сила $\vec{N}$, которая действует со стороны горизонтальной опоры на 1-й кирпич, если сверху положить ещё один такой же кирпич?



[30 Н]

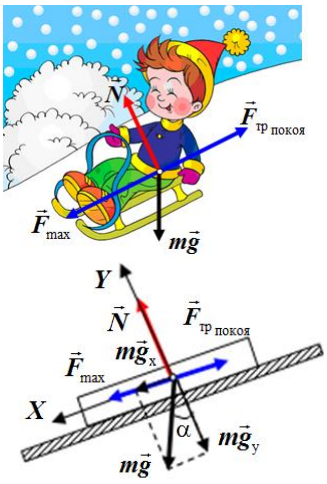
3.6.4. Сила трения

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
тре́ние	газ
сила тре́ния	поко́й
соприкаса́ться	скольже́ние
соприкаса́ющиеся пове́рхности	скользить
неро́вность	каче́ние
меша́ть + *инфинитив*	преде́льное
сухо́й	коэффицие́нт тре́ния
вя́зкий	колесо́
слои́ жи́дкости	преодоле́ние

Прочитайте материал к уроку.

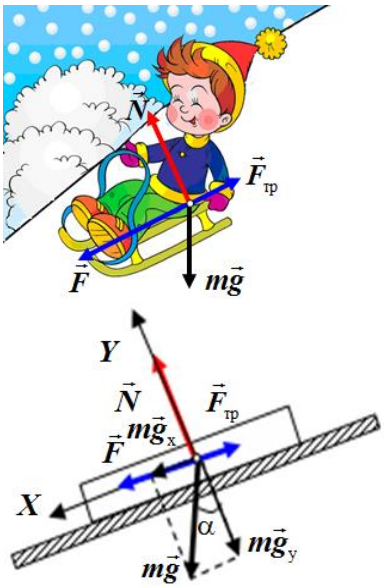
Сила трения возникает между соприкасающимися поверхностями (например, книгу двигают по столу и т. д.). Силы трения относят к электромагнитным взаимодействиям. Любые соприкасающиеся поверхности имеют неровности, которые мешают двигаться. Суммарная сила, которая требуется для преодоления этих неровностей, и есть сила трения. Различают внешнее (сухое) и внутреннее (вязкое) трение. Внутреннее трение возникает между слоями жидкости или газа, которые имеют различные скорости движения. Силы сухого трения возникают между покоящимися телами (силы трения покоя) и между движущимися телами (силы трения скольжения, силы трения качения).



Рассмотрите рисунок. Пусть тело покоится на наклонной плоскости ($|\vec{\upsilon}| = 0$). Сила трения покоя направлена против направления движения, которое имело бы тело при отсутствии силы трения. Тело покоится, если сила трения покоя меньше или уравновешивает внешнюю максимальную силу (F_{max}). Под F_{max} понимают такое максимальное значение силы, при котором тело начинает двигаться. Следовательно, значение силы трения покоя находится в пределах от нуля до F_{max} ($0 < F_{\text{тр покоя}} \le F_{max}$) и равно:

$$F_{\text{тр покоя}} = \mu_{\text{п}} \cdot N, \qquad \mu = [\text{мю}]$$

где N – сила реакции опоры; $\mu_{\text{п}}$ – коэффициент трения покоя.



Когда сила становится больше силы трения покоя, тело начинает двигаться – скользить. Силу трения, которая возникает при этом, называют **силой трения скольжения**. Сила трения скольжения, как и сила трения качения, направлена противоположно скорости движения тела. Экспериментально было установлено, что сила трения скольжения пропорциональна силе реакции опоры:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N,$$

где μ – коэффициент трения.

Коэффициент трения характеризует состояние соприкасающихся поверхностей и является величиной постоянной. Значение μ зависит от типа материалов, состояния поверхности и не превышает единицы. Коэффициент трения является величиной безразмерной.

Сила трения качения возникает при движении круглого тела (шар, цилиндр, колесо и др.) по поверхности другого тела и равна: $F_{\text{тр качения}} = \mu_{\text{кач}} \cdot \frac{N}{R}$, где $\mu_{\text{кач}}$ – коэффициент трения качения, R – радиус колеса. При этом движении площадь соприкасающихся поверхностей минимальна и, следовательно, требуется меньше усилий, чтобы сдвинуть тело с места.

Таким образом, соотношение между силами сухого трения следующее:

$$F_{\text{тр кач}} < F_{\text{тр покоя}} < F_{\text{тр скольжения}}.$$

Выполните задания.

Задание 3.6.31. Ответьте на вопросы.

1. К какому типу взаимодействия относят силы трения?
2. Какие виды трения вы знаете?
3. Какое трение является внутренним?
4. Какие силы сухого трения существуют?
5. Напишите формулу силы трения покоя. Куда она направлена? От чего зависит?
6. Напишите формулу силы трения скольжения. Куда она направлена? От чего зависит?
7. Напишите формулу силы трения качения. Куда она направлена? От чего зависит?

Задание 3.6.32. Выберите правильный вариант ответа.

1. Укажите выражение для силы трения:

(А) $F = -kx$ (Б) $F = mg$ (В) $F = ma$ (Г) $F = \mu N$

2. Брусок массой 0,2 кг равномерно тянут с помощью динамометра по горизонтальной поверхности стола. Показания динамометра 0,5 Н. Чему равен коэффициент трения скольжения?

(А) 0,4 (Б) 0,25 (В) 0,2 (Г) 0,5

3. Если силу нормального давления бруска на горизонтальную поверхность увеличить в 3 раза, то сила трения скольжения:

(А) увеличится в 9 раз (В) увеличится в 3 раза
(Б) уменьшится в 9 раз (Г) уменьшится в 3 раза

4. Автомобиль массой 5000 кг движется равномерно по прямой горизонтальной дороге. Коэффициент трения шин о дорогу равен 0,03. Определите силу, развиваемую двигателем (g = 10 м/с^2).

(А) 1500 Н (Б) 1520 Н (В) 1400 Н (Г) 150 Н

Задание 3.6.33. Решите задачу.

Брусок массой 0,2 кг покоится на наклонной плоскости с углом наклона 30°. Коэффициент трения 0,59. Чему равна сила трения, действующая на брусок?

Задание 3.6.34. Решите задачу.

Автомобиль массой 10^4 кг движется по горизонтальной дороге равномерно. Найдите силу тяги автомобиля, если коэффициент трения равен 0,03.

[3000 Н]

Задание 3.6.35. Решите задачу.

Тело массой 0,6 кг равномерно тянут по горизонтальной поверхности при помощи пружины. При этом пружина удлинилась на 3 см. Коэффициент трения между телом и поверхностью равен 0,2. Найдите коэффициент упругости пружины.

[40 Н/м]

Задание 3.6.36. Решите задачу.

Как изменяется скорость поезда $\upsilon(t)$, который при движении с места развивает максимальную силу тяги 650 кН? Масса поезда равна 3250 т, а коэффициент трения равен 0,005.

[$\upsilon = 0{,}15t$ м/с]

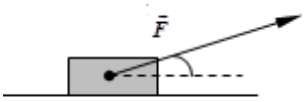
Задание 3.6.37. Решите задачу.

Тело массой 100 кг движется по горизонтальной поверхности с ускорением 1 м/с^2 под действием силы 250 Н, направленной под углом 30° к горизонту. Найдите коэффициент трения.

[0,133]

Задание 3.6.38. Решите задачу.

Брусок массой 1 кг движется равноускоренно по горизонтальной поверхности под действием силы 10 Н. Коэффициент трения скольжения равен 0,4, а угол 30°. Чему равен модуль силы трения? Чему равно ускорение бруска?



[2 Н; 6,5 м/с^2]

Задание 3.6.39. Решите задачу.

Какая сила потребуется, чтобы телу массой 2 кг, лежащему на горизонтальной поверхности, сообщить ускорение 0,2 м/с^2? Коэффициент трения между телом и поверхностью 0,02.

[0,8 Н]

Задание 3.6.40. Решите задачу.

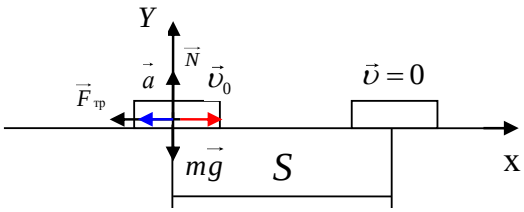
Тело массой 1кг лежит на горизонтальной поверхности. Сверху на нём лежит такое же тело массой 1 кг. Какую силу надо приложить, чтобы вытянуть нижнее тело из-под верхнего? Коэффициент трения на обеих поверхностях нижнего тела равен 0,3.

[9 Н]

3.7. Движение тела или системы тел в динамике

Рассмотрите примеры объяснения решения задач.

Задача 1. Движение тела по горизонтали. Автомобиль массой m = 1 т, двигаясь равнозамедленно, остановился через время t = 5 с, пройдя путь S = 25 м. Найти начальную скорость автомобиля и силу торможения.

Дано:	**СИ:**	**Решение:**
m = 1 т	1000 кг	
$\vec{\upsilon}_0 \uparrow\downarrow \vec{a}$		
t = 5 с		
S = 25 м		
Найти:		
$\upsilon_0 - ?$		
$F_{тр} - ?$		

$\vec{F}_{тр}$ – сила трения; $\vec{N}$ – сила реакции опоры; $m\vec{g}$ – сила тяжести, $\vec{a}$ – ускорение автомобиля, $\vec{\upsilon}_0$ – начальная скорость автомобиля; $\vec{\upsilon}$ – конечная скорость автомобиля; S – пройденный путь.

Используя II закон Ньютона, запишем уравнение динамики равнозамедленного, прямолинейного движения тела:

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

Выберем ось *X* по направлению движения, а *Y* – перпендикулярно ей. Найдём проекцию всех сил на оси координат.

На ось *Y*: $-mg + N = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg.$

На ось *X*: $-F_{тр} = -ma \quad \Rightarrow \quad F_{тр} = ma\,.$

Уравнения движения автомобиля в кинематике при равнозамедленном прямолинейном движении имеют вид:

$$S = \upsilon_0 t - \frac{at^2}{2}\,,$$

$$\upsilon = \upsilon_0 - at\,.$$

Решим совместно уравнения: $a = \dfrac{2S}{t^2}$.

Подставим *a* в $F_{тр}$: $\quad F_{тр} = \dfrac{2Sm}{t^2}; \quad \upsilon_0 = \dfrac{2S}{t}$.

Проверим единицы измерения полученных физических величин:

$$\left[F_{тр}\right] = \frac{м \cdot кг}{с^2} = Н\,,\ [\upsilon_0] = \frac{м}{с}\,.$$

Проведем вычисления:

$$F_{тр} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{25} = 2 \cdot 10^3 \text{ Н} = 2 \text{ кН},\ \upsilon_0 = \frac{2 \cdot 25}{5} = 10 \text{ м/с}.$$

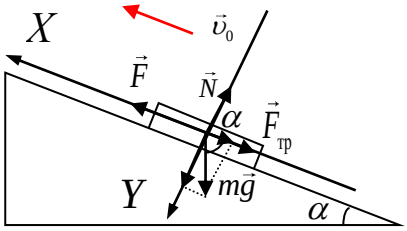
Ответ: $F_{тр} = 2$ кН, $\upsilon_0 = 10$ м/с.

Задача 2. Движение тела по наклонной плоскости. Какую силу надо приложить для подъёма вагонетки массой 600 кг по эстакаде с углом наклона 20°, если коэффициент сопротивления движению равен 0,05?

Дано:
m = 600 кг
α = 20°

Найти:
μ – ?
F – ?

Решение:



$\vec{F}_{тр}$ – сила трения; $\vec{N}$ – сила реакции опоры; $m\vec{g}$ – сила тяжести, $\vec{F}$ – приложенная сила. Используя II закон Ньютона, запишем уравнение динамики равномерного, прямолинейного движения тела:

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

Выберем оси координат: ось *OX* направим по направлению движения, ось *OY* – перпендикулярно к ней. Найдём проекцию всех сил на оси координат.

Ось OX: $-mg\sin\alpha - F_{тр} + F = 0$.

Ось OY: $mg\cos\alpha - N = 0 \Rightarrow N = mg\cos\alpha$.

Так как $F_{тр} = \mu \cdot N$, то $F_{тр} = \mu \cdot N = \mu mg \cdot \cos\alpha$,

$$F = F_{тр} + mg \cdot \sin\alpha = \mu mg \cdot \cos\alpha + mg \cdot \sin\alpha = mg(\mu\cos\alpha + \sin\alpha),$$

$$\boxed{F = mg(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)}.$$

Проверим единицы измерения полученной физической величины:

$$[F] = \text{кг}\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}.$$

Проведем вычисления:

$$F = 600 \cdot 10\left(0{,}05 \cdot \cos 20° + \sin 20°\right) = 2{,}3 \cdot 10^3\ \text{Н} = 2{,}3\ \text{кН}.$$

Ответ: F = 2,3 кН.

Задача 3. Движение системы тел с блоком по вертикали. На концах нити, перекинутой через блок, подвешенный к потолку, закреплены два груза общей массой 30 кг. Грузы движутся относительно Земли с ускорением a = 0,3g, направленным для правого груза вниз. Найти массы грузов m_1 и m_2. Массой блока и нити, а также трением в оси блока пренебречь.

Дано:

$m_1 + m_2 = 30$ кг

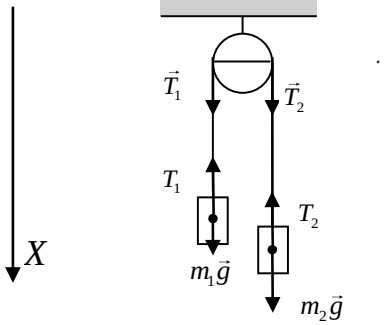
$a = 0{,}3g$

$k_1 = k_2 = 0{,}1$

Найти:

m_1, m_2 – ?

Решение:



$m_1\vec{g}$, $m_2\vec{g}$ – силы тяжести, $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ – силы натяжения нитей для первого и второго тел.

Предположим, что $m_2 > m_1$, тогда из чертежа видно, как движется система. Так как блок имеет неподвижную ось вращения, блок невесом, нить нерастяжима, а силой трения пренебрегаем, то $T_1 = T_2 = T$.

Используя II закон Ньютона, запишем уравнение динамики равноускоренного, прямолинейного движения для каждого тела:

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

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

Выберем ось по направлению движения груза. Найдём проекции всех сил на ось OX:

$$T - m_1 g = m_1 a,$$

$$m_2 g - T = m_2 a.$$

Сложим первое и второе уравнения и найдём $m_2 - m_1$:

$$\boxed{m_2 - m_1 = \frac{(m_1 + m_2)a}{g}}.$$

Проверим единицы измерения полученной физической величины:

$$[m] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м/с}^2}{\text{м/с}^2} = \text{кг}.$$

Проведём вычисления:

$$\begin{cases} m_1 + m_2 = 30 \\ m_2 - m_1 = \dfrac{30 \cdot 0,3g}{g} = 9 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2m_2 = 39 \\ m_1 = 30 - m_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m_2 = 19,5\ (\text{кг}) \\ m_1 = 10,5\ (\text{кг}) \end{cases}$$

Ответ: m_1 = 10,5 кг, m_2 = 19,5 кг.

Выполните задания.

Задание 3.7.1. Решите задачу в тетради.
Тело массой 60 кг движется по горизонтальной поверхности под действием силы 100 Н, направленной под углом α = 30° к горизонту. Найдите ускорение тела, если коэффициент трения тела о поверхность равен 0,05.

[0,99 м/с^2]

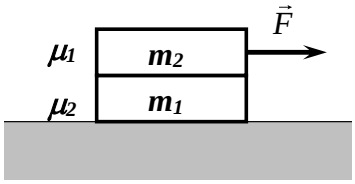
Задание 3.7.2. Решите задачу в тетради.
Автомобиль массой 2 т движется по горизонтальной дороге со скоростью 72 км/ч. При выключении мотора на автомобиль действует тормозящая сила 8 кН. Определите расстояние, пройденное автомобилем до полной остановки.

[50 м]

Задание 3.7.3. Решите задачу в тетради.
Брусок прижимают силой 8 Н к вертикальной стене. Сила тяжести, которая действует на брусок, равна 5 Н. Чему равен коэффициент трения, если брусок не движется?

[0,625]

Задание 3.7.4*. Решите задачу в тетради.
На горизонтальной поверхности лежат два тела одинаковой массы (как показано на рисунке). Расставьте силы трения, действующие на каждое тело. μ_1 – коэффициент трения между телами, μ_2 – коэффициент трения между нижним телом и горизонтальной поверхностью. При каком условии система будет двигаться как единое целое?



[$\mu_1 > 2\mu_2$]

Задание 3.7.5. Решите задачу в тетради.
Тело массой 20 кг движется вверх по наклонной плоскости с углом наклона α = 30° под действием силы 180 Н. Коэффициент трения между телом и наклонной плоскостью 0,4. Определите ускорение, с которым движется тело.

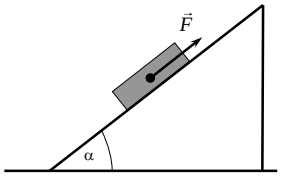
[0,55 м/с^2]

Задание 3.7.6. Решите задачу в тетради.
Тело массой 200 кг движется вниз по наклонной плоскости с углом наклона α = 60°. Коэффициент трения между телом и наклонной плоскостью 0,2. Определите ускорение, с которым движется тело.

[7,66 м/с^2]

Задание 3.7.7. Решите задачу.

К бруску массой $m_1 = 2$ кг, находящемуся на закреплённой наклонной шероховатой плоскости, приложена сила $F = 6$ Н, направленная вдоль плоскости, как показано на рисунке. При этом брусок движется вверх с ускорением.



На какую величину изменится ускорение бруска, если, не изменяя модуля и направления силы $\vec{F}$, заменить брусок на другой – из того же материала, но массой $m_2 = 0{,}5\ m_1$? Ответ выразите в м/с^2.

[3 м/с^2]

Задание 3.7.8. Решите задачу в тетради.

Автомобиль массой 1,6 т равномерно движется по выпуклому мосту. Радиус кривизны моста 100 м. Скорость автомобиля 36 км/ч. Определить силу давления автомобиля на середину моста.

[14,4 кН]

Задание 3.7.9. Решите задачу в тетради.

Два тела массами $m_1 = 4$кг и $m_2 = 8$кг связаны нитью. Нить перекинута через неподвижный блок. Нить нерастяжимая и невесомая. Массой блока и трением в блоке можно пренебречь. Определить ускорение тел a и силу натяжения нити T.

[3,3 м/с^2; 53,3 Н]

Задание 3.7.10. Решите задачу в тетради.

Два одинаковых груза массой $M = 100$ г каждый подвешены на концах невесомой и нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый блок с неподвижной осью. На один из них кладут перегрузок массой $m = 20$ г, после чего система приходит в движение. Найдите модуль силы F, которая действует на ось блока во время движения грузов. Трением пренебречь.

[2,18 Н]

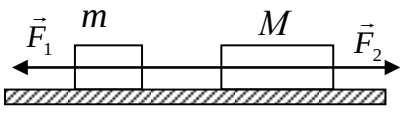
Задание 3.7.11. Решите задачу в тетради.

Два тела массами $m_1 = 10$ кг и $m_2 = 20$ кг связаны нитью и движутся по горизонтальной поверхности под действием силы. Нить нерастяжима и невесома. Найти ускорение системы тел a и силу натяжения нити, если известны сила тяги 30 Н, коэффициент трения 0,02.

[0,8 м/с^2; 10 Н]

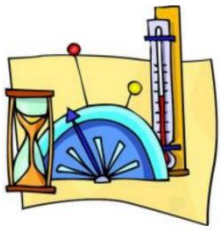
Задание 3.7.12. Решите задачу в тетради.

Два бруска массами $M = 3$ кг и $m = 1$ кг соответственно лежат на гладкой горизонтальной поверхности стола, связаны невесомой и нерастяжимой нитью.



На грузы действует силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, как показано на рисунке. Сила натяжения нити $T = 14$ Н. Чему равен модуль силы F_1, если $F_2 = 20$ Н.

[12 Н]



РАЗДЕЛ 4. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

Тема 4.1. Механическая работа

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
рабо́та	эне́ргия
механи́ческая рабо́та	Джо́уль
элемента́рная рабо́та	слу́чай
перемеща́ться	эне́ргия

Прочитайте и запомните.

перемеща́ться = соверша́ть перемеще́ние
рабо́тать = соверша́ть рабо́ту

Прочитайте материал к уроку.

Если тело движется под действием силы и совершает перемещение, то сила совершает работу. В механике с понятием **работа** тесно связано понятие **энергии**.

Элементарная работа равна скалярному произведению силы на перемещение:

δ = [дэ́льта]

$$\delta A = (\vec{F}\Delta\vec{r}) = F\Delta r \cdot \cos\alpha,$$

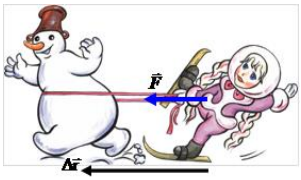
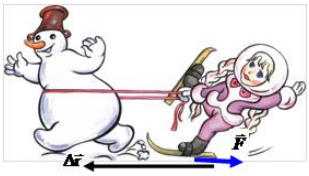
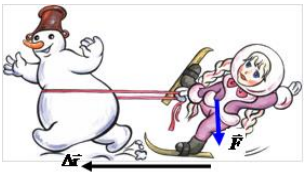
где F – действующая сила, Δr – перемещение, α – угол между направлением силы и перемещения.

Работа – скалярная величина, которая измеряется в джоулях:

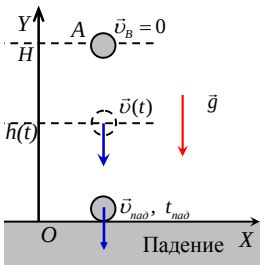
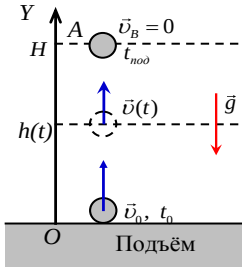
[*A*] = Дж = 1 Н·1 м = кг·м^2/с^2.

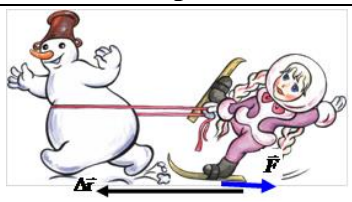
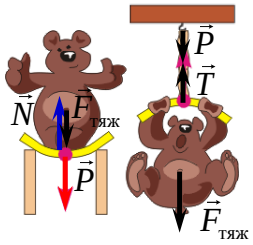
Джоуль – это работа, которую совершает сила в 1 Н при перемещении на 1м, если направления силы и перемещения совпадают. Из формулы работы можно сделать вывод, что работа зависит от силы, перемещения и угла между направлением силы и перемещения.

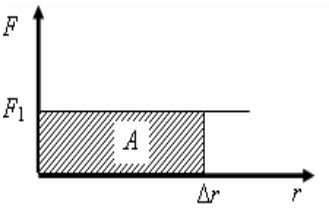
Рассмотрим случай, когда действующая сила постоянна: F = const и тело перемещается по прямой. Тогда работа при одинаковом перемещении зависит от угла α.

Направления силы и перемещения совпадают ($\alpha = 0°$)	Направления силы и перемещения противоположны ($\alpha = 180°$)	Направления силы и перемещения перпендикулярны ($\alpha = 90°$)
		
$A = F\Delta r \cdot \cos\alpha = F\Delta r \cdot \cos 0° = F\Delta r$	$A = F\Delta r \cdot \cos\alpha = F\Delta r \cdot \cos 180° = -F\Delta r$	$A = F\Delta r \cdot \cos\alpha = F\Delta r \cdot \cos 90° = F\Delta r \cdot 0 = 0$
Движущая сила совершает **положительную работу** ($A > 0$), то есть скорость тела увеличивается.	Работа сил сопротивления **отрицательная** ($A < 0$). Сила сопротивления препятствует движению, то есть скорость тела уменьшается.	Силы, перпендикулярные к направлению движения, **работы не совершают** ($A = 0$).

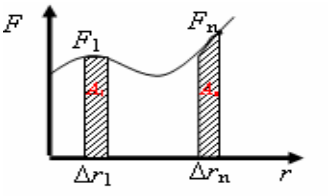
Примеры нахождения работы силы тяжести, силы трения и силы реакции опоры.

Сила тяжести		
		
$A = mg \cdot \Delta r \cdot \cos\alpha = mg \cdot \Delta r \cdot \cos 0° = mg \cdot \Delta r$ Сила тяжести увеличивает скорость тела с течением времени.	$A = mg \cdot \Delta r \cdot \cos\alpha = mg \cdot \Delta r \cdot \cos 180° = -mg \cdot \Delta r$ Сила тяжести препятствует движению тела.	$A = mg \cdot \Delta r \cdot \cos\alpha = mg \cdot \Delta r \cdot \cos 90° = 0$ Сила тяжести работы не совершает.

Сила трения	**Сила реакции опоры**
	
$A = F_{тр}\Delta r \cdot \cos\alpha = {}_{тр}F\Delta r \cdot \cos 180° = -F_{тр}\Delta r$	$A = N\Delta r \cdot \cos\alpha = N\Delta r \cdot \cos 90 = 0$



Определить значение работы можно из графика зависимости силы F от перемещения r. Если сила постоянна (F_1 = const), то её графиком является прямая, параллельная оси перемещения. Работа равна: $A = F_1 \Delta r$, или величина работы равна площади прямоугольника $F_1 - \Delta r$.



Выше представлены примеры, когда сила – величина постоянная. Теперь рассмотрим общий случай: пусть сила изменяется. Разделим перемещение Δr на бесконечно малые части ($\Delta r_n \to 0$) так, чтобы сила на каждом участке перемещения была величиной постоянной: $\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_2 + ... + \Delta r_n$. Работа на каждом участке равна: $\Delta A_n = F_n \Delta r_n$, тогда полная работа на всем перемещении равна:

$$A = \Delta A_1 + \Delta A_2 + ... + \Delta A_n = F_1 \Delta r_1 + F_2 \Delta r_2 + ... + F_n \Delta r_n = \sum_n F_n \Delta r_n ,$$

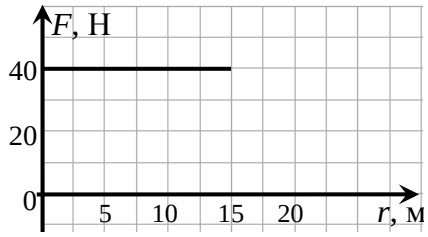
или величина работы равна площади под кривой на участке перемещения.

Выполните задания.

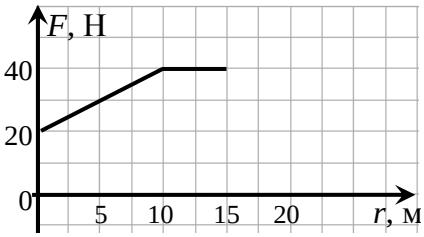
Задание 4.1.1. Ответьте на вопросы.

1. Дайте определение механической работы.
2. В каких единицах измеряется механическая работа?
3. Чему равна работа и от чего она зависит?
4. От чего зависит знак работы? Приведите примеры.
5. Как из графика определить значение работы?

Задание 4.1.2. Рассмотрите графики. Что можно сказать о силе, которая действует на первое тело? Что можно сказать о силе, которая действует на второе тело? Определите механическую работу силы при условии, что сила действует в направлении движения. Вычислите работу, которую совершает тело.



A =



A =

Задание 4.1.3. Выберите правильный вариант ответа.

1. Какой буквой обозначается работа?
   (А) S (Б) F (В) A (Г) P

2. В каких единицах измеряется работа в системе СИ?
   (А) Н (Б) Дж (В) Вт (Г) м

3. Механическую работу вычисляют по формуле:
   (А) $A = F \cdot r \cdot \cos\alpha$ (Б) $A = P \cdot S$ (В) $F = P \cdot S \cdot \cos\alpha$ (Г) $P = mg$

4. В каком случае совершается работа?
   (А) шарик катится по гладкому горизонтальному столу
   (Б) кирпич лежит на земле
   (В) человек поднимает груз

5. Вычислите работу, совершаемую при поднятии груза весом 6 Н на высоту 2 м.
   (А) 3 Дж (Б) 8 Дж (В) 12 Дж (Г) 4 Дж

6. Какую работу совершает сила тяжести при падении капли?
   (А) отрицательную
   (Б) положительную
   (В) работа равна нулю

7. В каком случае работа равна нулю?
   (А) если направление силы совпадает с направлением движения тела
   (Б) если направление силы не совпадает с направлением движения тела
   (В) если направление силы перпендикулярно направлению движения

8. Тело массой 20 кг свободно падает в течение 6 с. Рассчитайте работу силы тяжести.
   (А) 36 кДж (Б) 120 Дж (В) 3,6кДж (Г) 1,2кДж

9. На каком пути сила 8 Н совершает работу 32 Дж?
   (А) 40 м (Б) 256 м (В) 4 м (Г) 28 м

10. При поднятии груза на высоту 3 м совершается работа 12 Дж. Вычислите вес груза.
   (А) 36 Н (Б) 15 Н (В) 4 Н (Г) 9 Н

11. Тело движется по горизонтальной поверхности под действием горизонтальной силы 15 Н. Найдите работу этой силы при перемещении тела на 3 м.
   (А) 25 Дж (Б) 35 Дж (В) 45 Дж (Г) 55 Дж

Задание 4.1.4. Решите задачу в тетради.
Тело массой 10 кг поднимают с ускорением 2 м/с^2 на высоту 25 м. Какая работа совершается при подъёме тела?

[500 Дж]

Задание 4.1.5. Решите задачу в тетради.
Груз массой 50 кг свободно падает из состояния покоя в течение 10 с. Какую работу совершает сила тяжести за это время?

[250 кДж]

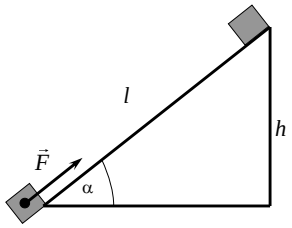
Задание 4.1.6. Решите задачу в тетради.
Груз скользит с трением по горизонтальной поверхности. Сила, которая действует на груз, равна 200 Н и направлена под углом 60° к горизонту. Чему равна работа силы трения при перемещении тела на 5 м, если движение тела прямолинейное и равномерное? Каков коэффициент трения груза о плоскость? Масса тела 30 кг.

[500 Дж; 0,56]

Задание 4.1.7. Решите задачу в тетради.
Вычислите работу при движении тела массой 20 кг по наклонной плоскости на расстоянии 6 м, если угол, образуемый плоскостью с горизонтом, равен 30°, а коэффициент трения 0,01.

[582 Дж]

Задание 4.1.8. Решите задачу в тетради.
Вверх по наклонной плоскости на расстоянии l = 5 м под действием силы F перемещается груз массой 2 кг, который поднимается от своего первоначального положения на высоту 3 м. Вектор силы F направлен параллельно наклонной плоскости и равен 30 Н. Какую работу при этом перемещении совершила сила тяжести? Коэффициент трения μ = 0,5.



[60 Дж]

Тема 4.2. Мощность. Коэффициент полезного действия

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
мо́щность	поле́зная рабо́та
быт	затра́ченная рабо́та
Ватт	поте́ря
дви́гатель	теря́ть *что? (В.п.)*
коэффицие́нт поле́зного де́йствия	

Прочитайте материал к уроку.

Мощность – это работа, которую совершает сила в единицу времени:

$$N = \frac{A}{t}.$$

Мощность – это скалярная физическая величина. В системе СИ мощность измеряется в ваттах: **[*N*] = 1Вт** $= 1\frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. 1 Вт – это мощность, при которой за время 1с совершается работа в 1 Дж. Мощность часто обозначают буквой P.

Любые механизмы, которые совершают работу, теряют часть энергии на работу сил сопротивления ($A_{\text{потери}}$). Для характеристики механизма используют понятие **коэффициент полезного действия** (КПД).

Отношение полезной работы ($A_{\text{полезная}}$) к затраченной работе ($A_{\text{затраченная}}$) называется коэффициентом полезного действия:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{A_{\text{затраченная}}} \text{ или } \eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{A_{\text{затраченная}}}\cdot 100\%,$$

η = [э́тта]

$$A_{\text{затраченная}} = A_{\text{полезная}} + A_{\text{потери}}.$$

КПД в реальных механизмах меньше единицы $\eta < 1$.

Выполните задания.

Задание 4.2.1. Ответьте на вопросы.

1. Дайте определение мощности.
2. В каких единицах измеряется мощность?
3. Какие несистемные единицы мощности вы знаете?
4. Дайте определение коэффициента полезного действия.

Задание 4.2.2. Выберите правильный вариант ответа.

1. В каких единицах измеряется мощность?
   (А) Ватт (Б) Джоуль (В) Ньютон (Г) Паскаль

2. Единица измерения мощности в СИ – ватт. 1 Вт равен:
   (А) 1 Н·м·с (Б) 1 (Н·м)/с (В) 1 Н·м (Г) 1 Н/с

3. Определите мощность электродвигателя, который за 10 мин совершает работу 3000 кДж.
   (А) 300 Вт (Б) 200 Вт (В) 5 кВт (Г) 50 кВт

4. Определите работу, совершаемую двигателем мощностью 400 Вт за 30 с.
   (А) 1200 Дж (Б) 13 Дж (В) 12 кДж (Г) 13 Дж

5. За какое время двигатель мощностью 4 кВт совершит работу в 30000 Дж?
   (А) 7,5 с (Б) 40 с (В) 20 с (Г) 12 с

6. За какое время двигатель мощностью 2 кВт совершит работу в 360 кДж?
   (А) 12 мин (Б) 6 мин (В) 3 мин (Г) 18 мин

7. Коэффициент полезного действия – это отношение … работы к … работе.
   (А) полезной; затраченной (Б) затраченной; полезной

8. Какое из утверждений является верным?
   (А) затраченная работа всегда больше полезной
   (Б) затраченная работа всегда меньше полезной
   (В) затраченная работа равна полезной

9. КПД = 40 %. Это значит, что 40 % всей работы является полезной.
   (А) верное утверждение
   (Б) неверное утверждение

10. Механизм лифта имеет КПД 90%. Лифт совершил 900 кДж полезной работы. Чему равна работа потерь, затраченная работа?
   (А) 100 кДж (Б) 810 кДж (В) 900 кДж (Г) 1000 кДж

Задание 4.2.3. Решите задачу в тетради.
Какую мощность развивает двигатель подъёмного механизма крана, если он равномерно поднимает плиту массой 600 кг на высоту 4 м за 3 с?

[8 кВт]

Задание 4.2.4. Решите задачу в тетради.
Подъёмный кран поднимает груз массой 5 т на высоту 15 м. За какое время поднимется этот груз, если мощность двигателя крана 10 кВт и КПД равен 80 %?

[94 с]

Задание 4.2.5. Решите задачу в тетради.
Подъёмный кран равномерно поднимает груз 5000 кг на высоту 10 м за 25 с. Чему равна полезная мощность?

[20 к Вт]

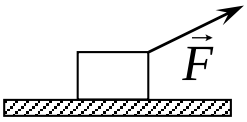
Задание 4.2.6. Решите задачу в тетради.
Под действием силы тяги в 1 000 Н автомобиль движется с постоянной скоростью 72 км/ч. Найдите мощность двигателя (ответ дайте в кВт).

[20 к Вт]

Задание 4.2.7. Решите задачу в тетради.
Кусок льда массой 2 кг упал без начальной скорости на землю с крыши высотой 5 м. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите среднюю мощность силы тяжести, которая действует на тело во время падения.

[100 Вт]

Задание 4.2.8. Решите задачу в тетради.
Тело тащат по шероховатой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью, модуль которой равен 0,5 м/с, прикладывая к нему силу F так, как показано на рисунке. При этом модуль действующей на тело силы трения скольжения равен 18 Н. Чему равна мощность, развиваемая силой F?



[9 Вт]

Задание 4.2.9. Решите задачу в тетради.
Тело массой 0,5 кг свободно падает на землю с высоты 80 м. Какую среднюю мощность развивает сила тяжести за время падения тела?

[100 Вт]

Тема 4.3. Кинетическая энергия

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
эне́ргия	кинети́ческая эне́ргия
механи́ческая эне́ргия	потенциа́льная эне́ргия

Прочитайте материал к уроку.

Любое тело, которое совершает работу, обладает энергией. Изменение энергии измеряют работой: $A = E_2 - E_1$. Поэтому энергия измеряется также в джоулях.

В механике различают два вида энергии: **кинетическую и потенциальную**. Найдём кинетическую энергию тела массой m, на которое в момент времени $t_0 = 0$ начинает действовать постоянная сила F. Тело движется из состояния покоя ($\upsilon_0 = 0$) с координаты x_0 в положительном направлении оси OX, в момент времени t тело окажется в точке x.

Работа, которую совершает тело, равна: $A = F\Delta x \cdot \cos\alpha$. Угол $\alpha = 0$, так как направления силы и перемещения совпадают. Перемещение равно: $\Delta x = x - x_0 = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}$. Из II закона Ньютона: $F = ma$.

Найдём работу: $A = ma \cdot \frac{at^2}{2} \cdot \cos 0° = m\frac{a^2t^2}{2}$. Из кинематики известно: $\upsilon = \upsilon_0 + at, \Rightarrow a = \frac{\upsilon}{t}$. Подставим в выражение: $A = m\frac{a^2t^2}{2} = m \cdot \left(\frac{\upsilon}{t}\right)^2 \cdot \frac{t^2}{2} = \frac{m\upsilon^2}{2}$. К моменту времени t сила F совершает работу:

$$A = E_{\text{К конеч}} - E_{\text{К нач}} = \frac{m\upsilon^2}{2} - \frac{m\upsilon_0^2}{2} = \frac{m\upsilon^2}{2}.$$

В общем случае $\boxed{A = \frac{m\Delta\upsilon^2}{2}}$.

Величину $E_к = \frac{m\upsilon^2}{2}$ называют кинетической энергией движущегося тела.

Кинетическая энергия зависит от массы m тела и скорости его движения υ. Кинетическая энергия равна работе, которую должна совершить сила, чтобы изменить скорость тела.

ЗАПОМНИТЕ!

Кинетическая энергия – это энергия движущегося тела.

Выполните задания.

Задание 4.3.1. Ответьте на вопросы.

1. Дайте определение кинетической энергии.
2. В каких единицах измеряется кинетическая энергия?
3. Выведите формулу кинетической энергии.

Задание 4.3.2. Выберите правильный ответ.

1. Кинетическая энергия – это энергия, …

(А) которая определяется взаимным расположением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела

(Б) которой обладает тело в результате своего движения

(В) которой обладает нагретое тело

(Г) которой обладает деформированное тело

2. Какова единица измерения кинетической энергии?
(А) Ватт (Б) Джоуль (В) Ньютон (Г) Паскаль

3. От чего зависит кинетическая энергия тела?
(А) от массы и скорости движения
(Б) от скорости движения
(В) от высоты над поверхностью земли и массы тела

4. Какое из двух одинаковых по массе тел имеет большую кинетическую энергию: тело, которое движется со скоростью 2 м/с, или тело, которое движется со скоростью 4 м/с?
(А) то, что движется со скоростью 2 м/с
(Б) то, что движется со скоростью 4 м/с.
(В) они обладают одинаковой кинетической энергией

5. Какой кинетической энергией будет обладать пуля, вылетевшая из ружья, если её скорость при вылете равна 600 м/с, а масса равна 9 г?
(А) 460 Дж (Б) 1620 Дж (В) 2500 Дж (Г) 1800 Дж

6. Уравнение движения тела массой 2 кг имеет вид $x = 3 + 2t + t^2$. Чему равна кинетическая энергия тела через 1 с после начала движения?
(А) 8 Дж (Б) 16 Дж (В) 4 Дж (Г) 32 Дж

7. Тело движется с постоянной скоростью 10 м/с. Кинетическая энергия тела равна 15 Дж. Найдите массу тела.
(А) 0,1 кг (Б) 0,3 кг (В) 0,5 кг (Г) 0,7 кг

8. Кинетическая энергия тела тем больше, чем …
(А) больше скорость тела.
(Б) выше расположение тела над землей.
(В) сильнее сжато или растянуто тело.

9. Чему равна кинетическая энергия пули массой 10 г, летящей со скоростью 800 м/с?
(А) 320 Дж (Б) 4 кДж (В) 400 Дж (Г) 3,2 кДж

Задание 4.3.3. Решите задачу в тетради.
Импульс тела равен 8 кг·м/с. Кинетическая энергия тела равна 16 Дж. Найдите массу тела.

[2 кг]

Задание 4.3.4. Решите задачу в тетради.
Импульс тела массой 2 кг равен 16 кг·м/с. Найдите скорость и кинетическую энергию тела.

Задание 4.3.5. Решите задачу в тетради.
На покоящееся тело массой 1 кг действует сила 5 Н. Определите кинетическую энергию тела через 2 с движения.

Задание 4.3.6. Решите задачу в тетради.
Тело массой 100 г свободно падает через 5 с после начала движения. Какой кинетической энергией будет обладать тело?

[125 Дж]

Задание 4.3.7. Решите задачу в тетради.
Тело массой 2 кг брошено вертикально вверх со скоростью 10 м/с. Чему равна кинетическая энергия тела через 1 с после броска и в верхней точке траектории?

[0,04 Дж; 0 Дж]

Задание 4.3.8. Решите задачу в тетради.
Тело массой 500 г брошено вертикально вверх. Найдите кинетическую энергию в момент бросания, если оно упало на Землю через 8 с. Сопротивление воздуха не учитывать.

[400 Дж]

Задание 4.3.9. Решите задачу в тетради.
Изменение скорости тела массой 2 кг, движущегося по оси x, описывается формулой $\upsilon = \upsilon_0 - 2t$. Какова кинетическая энергия тела через 3 с после начала отсчёта времени?

Тема 4.4. Потенциальная энергия

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

Новые слова и словосочетания	
сра́внивать	консерватúвный
спу́щенный	за́мкнутая траекто́рия

Прочитайте материал к уроку.

Потенциальная энергия силы тяжести

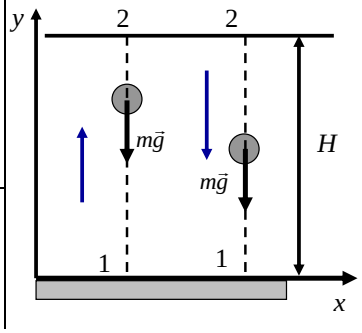
Работа силы тяжести. Рассмотрим примеры задач, когда сила является постоянной величиной. К такой силе можно отнести силу тяжести, у которой вблизи поверхности Земли величина ускорения свободного падения ($\vec{g}$) считается неизменной.

Пример 1. Найдите работу силы тяжести камня массой m, брошенного вертикально вверх, в моменты времени: а) t_1 – от момента броска до момента подъёма на максимальную высоту H, б) t_2 – за время падения, в) за время движения t.

Дано:
m
H
а) t_1
б) t_2
в) t

Найти
A_1, A_2, A – ?

Решение:



а) Тело бросили вертикально вверх из точки *1* в точку *2*. На него действует сила тяжести, которая направлена к Земле. Направления перемещения и силы тяжести противоположны, поэтому α = 180°. Тело поднимется на максимальную высоту H, тогда работа силы тяжести равна:

$$A_1 = mgH \cdot \cos\alpha = mgH \cdot \cos 180° = -mgH.$$

б) Тело падает вниз из точки 2 в точку 1. На него также действует сила тяжести. Направления перемещения и силы тяжести совпадают, поэтому α = 0°. Тело падает с максимальной высоты H, тогда работа силы тяжести равна:

$$A_2 = mgH \cdot \cos\alpha = mgH \cdot \cos 0° = mgH.$$

в) За время движения тело вернулось в начальную точку – на Землю (из точки *1* в точку *1*). Тогда работа на всем пути (замкнутой траектории) равна:

$$A = A_1 + A_2 = -mg \cdot H + mg \cdot H = 0.$$

Ответ: а) $A_1 = -mgH$, б) $A_2 = mgH$, в) $A = 0$.

ЗАПОМНИТЕ!

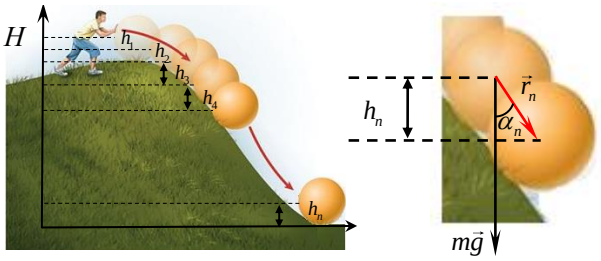
Работа силы тяжести по замкнутой траектории равна нулю.

Пример 2. Сравните работу силы тяжести мяча массой *m*, брошенного с высоты *H* без начальной скорости (A_1), с работой силы тяжести этого же мяча, спущенного с горки (A_2).

Дано:
$\upsilon_0 = 0$
m, H

Найти:
A_1/A_2

Решение:



Работа силы тяжести для тела, брошенного вниз, рассмотрена в примере 1 б: $A_1 = mgH$.

Найдём работу силы тяжести при движении мяча с горки. Разобьём горку на малые участки h_1, h_2 ... h_n. Найдём работу на каждом из участков в отдельности: h_1, h_2 ... h_n. Следовательно, работа мяча на всем пути:

$$A_2 = mgr_1 \cos\alpha_1 + mgr_2 \cos\alpha_2 + ... + mgr_n \cos\alpha_n =$$

$$= mgh_1 + mgh_2 + ... + mgh_n = mg(h_1 + h_2 + ... + h_n) = mgH.$$

Тогда отношение работы мяча, брошенного с высоты без начальной скорости, к работе мяча, спущенного с горки: $A_1/A_2 = 1$.

Ответ: $A_1/A_2 = 1$.

ЗАПОМНИТЕ!

Работа силы тяжести не зависит от траектории, по которой двигалось тело, а зависит от высоты, на которую поднимали или опускали тело:

$$A = mgH.$$

Силы, работа которых не зависит от траектории движения, а определяется начальным и конечным положением тела, называют консервативными.

Найдём работу силы тяжести тела, которое спустилось с горки (смотрите рисунок к примеру 2): $A = E_{конеч} - E_{нач}$. В данном примере конечное положение тело – это положение тела на поверхности Земли. Будем считать его за начало координат, тогда $h_{конеч} = 0$. Тогда $A = -E_{нач} = -mgH$.

В общем случае $A = -(E_{P2} - E_{P1})$. Знак минус показывает, что положительная работа силы тяжести ведёт к уменьшению потенциальной энергии.

Потенциальная энергия тела – физическая величина, равная произведению массы тела на модуль ускорения свободного падения и на высоту, на которую поднято тело: $E_{\text{р}} = mgH$.

Потенциальная энергия может быть как положительной, так и отрицательной величиной.

Потенциальная энергия силы упругости

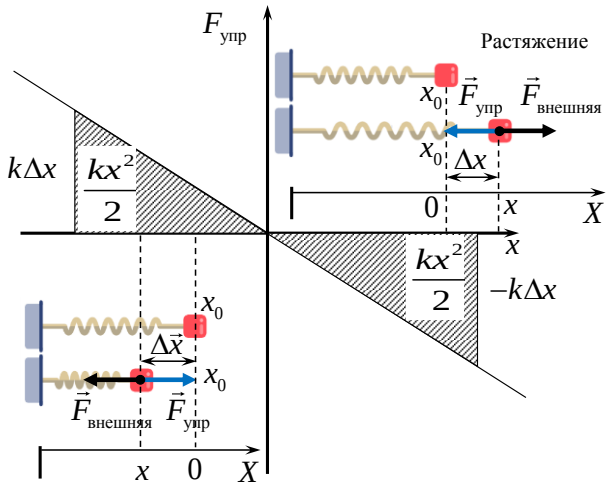
Работа силы упругости. В отличие от силы тяжести сила упругости изменяется в процессе деформации пружины (Δx). Растяжение происходит медленно.

Пример 3. Найдите работу, которую совершает сила упругости при деформации (удлинении/сжатии) упруго деформированной пружины из недеформированного состояния x_0 в положение x, k – коэффициент упругости пружины.

Дано:
$\upsilon_0 = 0$
k, x_0

Найти:
A – ?

Решение:



При деформации пружины возникает сила упругости, её величина равна: $F_{\text{упр}} = -k \cdot \Delta x = -k(x - 0)$. Сила упругости направлена против деформации. Следовательно, при сжатии $\Delta x < 0$, а $F_{\text{упр}} > 0$, при растяжении $\Delta x > 0$, а $F_{\text{упр}} < 0$. Решим графическим методом задачу. Графиком функции $F_{\text{упр}} = f(x)$ является прямая. Площадь под кривой соответствует работе, которую совершает сила. Из рисунка видно, что фигура под кривой – это треугольник. Его площадь равна: $A = k\Delta x \cdot \Delta x \cdot \frac{1}{2} = \frac{k(\Delta x)^2}{2}$.

Обратите внимание, что знак A не зависит от того, каким способом происходила деформация: сжатием или растяжением.

Ответ: $A = \frac{k(\Delta x)^2}{2}$.

ЗАПОМНИТЕ!

Сила упругости – консервативная сила.
Работа силы упругости равна:

$$A = \frac{k(\Delta x)^2}{2}.$$

Потенциальная энергия упруго деформированного тела – физическая величина, равная половине произведения жёсткости тела на квадрат его удлинения (или сжатия): $E_{\text{р}} = \dfrac{k(\Delta x)^2}{2}$.

Обратите внимание на очень важный факт. Любая система, если на неё не действуют внешние силы, стремится уменьшить свою потенциальную энергию. Например, растянутая пружина стремится сжаться, а сжатая пружина стремится растянуться. Мяч стремится упасть на землю и т. д.

ЗАПОМНИТЕ!

Потенциальная энергия появляется при взаимодействии тел или частей одного и того же тела.

Выполните задания.

Задание 4.4.1. Ответьте на вопросы.

1. Чему равна работа силы тяжести и от чего она зависит?
2. Чему равна работа силы тяжести по замкнутому пути? Почему?
3. Дайте определение потенциальной энергии силы тяжести.
4. Чему равна работа силы упругости?
5. Дайте определение потенциальной энергии упруго деформированного тела.
6. Какая сила называется консервативной силой? Приведите примеры консервативных сил.

Задание 4.4.2. Выберите правильный вариант ответа.

1. Что называется потенциальной энергией?
   (А) энергия, которая определяется взаимодействием тел или частей тела
   (Б) энергия, которой обладает тело вследствие своего движения
   (В) энергия, которой обладает тело, заряженное электричеством
2. Найдите формулу для расчёта потенциальной энергии тела, поднятого на высоту h над поверхностью Земли:

   (А) $F = mg$ (Б) $E_{\text{к}} = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$ (В) $E_{\text{р}} = \dfrac{kx^2}{2}$ (Г) $E_{\text{р}} = mgH$

3. От каких величин зависит потенциальная энергия поднятого над землёй тела?
   (А) от массы и скорости тела
   (Б) только от высоты подъёма
   (В) от массы и высоты подъёма

4. На одной и той же высоте висят два бруска массой 10 кг и 5 кг. Какой брусок обладает большей потенциальной энергией?
   (А) тело массой 5 кг
   (Б) тело массой 10 кг
   (В) они обладают одинаковой энергией

5. Какой потенциальной энергией относительно Земли обладает тело массой 0,2 т на высоте 5 м?

(А) 10000 Дж (Б) 1000 Дж (В) 10 Дж (Г) 0,001 Дж

6. Какой механической энергией обладает растянутая или сжатая пружина?
   (А) кинетической
   (Б) потенциальной
   (В) не обладает механической энергией

Задание 4.4.3. Решите задачу.
Найдите потенциальную энергию сжатой пружины, если для её деформации на 2 см приложили силу 10 Н. На сколько увеличится энергия пружины при увеличении сжатия до 6 см?

Задание 4.4.4. Решите задачу.
Растянутая на 2 см стальная пружина обладает потенциальной энергией упругой деформации 4 Дж. На сколько увеличится потенциальная энергия упругой деформации при растяжении этой пружины ещё на 2 см?

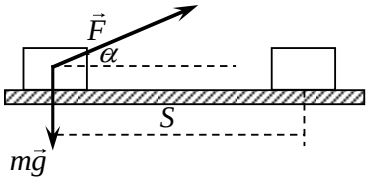
[12 Дж]

Задание 4.4.5. Решите задачу.
Тело, брошенное вертикально вверх, вернулось на Землю через 4 с. Определите потенциальную энергию тела в точке наибольшего подъёма. Масса тела 0,5 кг.

Задание 4.4.6. Решите задачу.
Тело массой 1 кг имеет потенциальную энергию 9,8 Дж. На какую высоту над Землей поднято тело, если нулевой уровень потенциальной энергии находится на поверхности Земли?

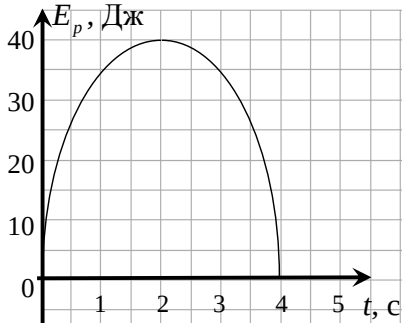
[0,98 м]

Задание 4.4.7. Решите задачу в тетради.
Брусок массой m перемещается на расстояние S по прямой на горизонтальной поверхности под действием силы F, направленной под углом α к горизонту. Коэффициент трения равен μ. Чему равна работа силы: а) тяжести бруска на этом пути; б) реакции опоры; в) F?



Задание 4.4.8. Решите задачу в тетради.
Небольшое тело массой 0,2 кг бросили вертикально вверх. На рисунке показан график зависимости потенциальной энергии E_p тела от времени t в течение полета. На какую максимальную высоту поднялось тело?

[20 м]



Тема 4.5. Законы сохранения в механике

Прочитайте и переведите новые слова и словосочетания.

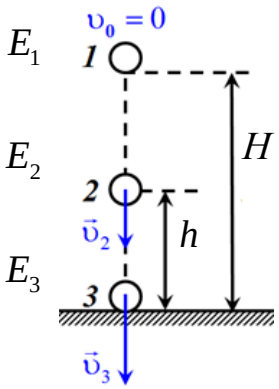
Новые слова и словосочетания	
за́мкнутая система па́дать – упа́сть по́лный	возника́ть исчеза́ть

Прочитайте материал к уроку.

Замкнутая система – это такая система, в которой на тело (или тела) не действуют внешние силы или их действие скомпенсировано. Например, мяч падает в поле тяжести Земли. Считаем, что система замкнутая: мяч взаимодействует только с Землёй. Если учитывать силы сопротивления воздуха, которые действуют на мяч, то эта система уже является незамкнутой.

Закон сохранения полной механической энергии

Рассмотрим, как в замкнутой системе изменяется кинетическая и потенциальная энергия свободно падающего тела в поле тяжести Земли, если не учитывать силы сопротивления.



В верхней точке свободно падающее тело обладает потенциальной энергией. При падении, под действием гравитационного поля, его скорость увеличивается. Следовательно, кинетическая энергия будет увеличиваться. Одновременно потенциальная энергия будет уменьшаться, так как расстояние до поверхности земли уменьшается. **Полная механическая энергия системы** в любой момент времени равна сумме потенциальной и кинетической энергий: $E = E_p + E_k$.

Многочисленные эксперименты установили: **в замкнутой системе тел полная механическая энергия системы остаётся неизменной: $E_p + E_k = \text{const}$.** Это **закон сохранения энергии**.

Применим закон сохранения энергии к рассмотренному случаю.

В верхней точке: $E_1 = E_p + E_K = mgH + 0 = mgH$.

На Земле: $E_3 = E_\text{P} + E_\text{K} = 0 + \dfrac{m\upsilon_3^2}{2} = \dfrac{m\upsilon_3^2}{2}$.

На высоте h: $E_2 = E_\text{P} + E_\text{K} = mgh + \dfrac{m\upsilon_2^2}{2}$.

Согласно закону сохранения энергии:

$$E_1 = E_2 = E_3,\ mgH = mgh + \frac{m\upsilon_2^2}{2} = \frac{m\upsilon_3^2}{2}.$$

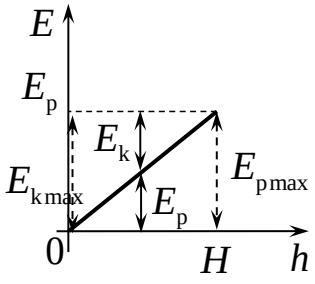


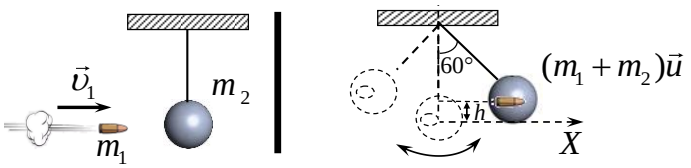
График зависимости полной энергии от расстояния представлен на рисунке. Под прямой отложена потенциальная энергия ($E_\text{P} = mgh$). Над прямой – значение кинетической энергии, соответствующее каждой высоте h.

При любых физических взаимодействиях энергия не возникает и не исчезает, а только превращается из одной формы в другую. Этот закон называют законом сохранения энергии.

Пример 1. Пуля массой m_1 = 20 г летит горизонтально и попадает в вертикально висящий шар, застревает в нём. Шар массой m_2 = 80 г висит на нити 1,6 м. В результате удара шар совершает колебательные движения. Максимальный угол отклонения нити от вертикали составляет α = 60°. Чему равна скорость пули перед попаданием в шар?

Дано	**СИ**
m_1 = 20 г	$2\cdot10^{-2}$ кг
m_2 = 80 г	$8\cdot10^{-2}$ кг
υ_2 = 0 м/с	
l = 1,6 м	
α = 60°	
Найти	
υ_1 – ?	

Решение:



Система «пуля + шар» является замкнутой. Удар является центральным, абсолютно неупругим. Запишем закон сохранения импульса для этого удара:

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = (m_1+m_2)\vec{u},$$

Найдём проекцию импульсов на горизонтальную ось: $m_1\upsilon_1 = (m_1+m_2)u$.

Выразим скорость пули до удара: $\upsilon_1 = \dfrac{(m_1+m_2)u}{m_1}$.

После удара механическая энергия системы «пуля + шар» сохраняется. Кинетическая энергия системы в момент удара перешла в потенциальную энергию, шар отклонился на максимальный угол α (система поднялась на высоту h):

$$\frac{(m_1+m_2)u^2}{2} = (m_1+m_2)gh\,.$$

Так как шар отклоняется на угол 60°, то $c\cos\alpha = \dfrac{l-h}{l} \Rightarrow h = l(1-\cos\alpha)$.

Найдём скорость системы после удара u: $u = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1-\cos\alpha)}$.

Найдём скорость пули до удара:

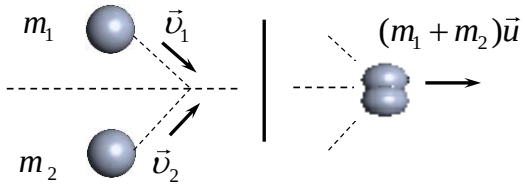
$$\upsilon_1 = \frac{(m_1+m_2)}{m_1}\sqrt{2gl(1-\cos\alpha)} = \frac{0,08+0,02}{0,02}\sqrt{2\cdot10\cdot1,6\cdot(1-0,5)} = 20 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\upsilon_1 = 20$ м/с.

Пример 2. Две частицы массами m_1 и m_2 движутся под прямым углом друг к другу со скоростями υ_1 и υ_2. После неупругого удара частицы слипаются и начинают двигаться вместе. Определить потери механической энергии.

Дано:
m_1
m_2
υ_1
υ_2
Найти:
ΔE – ?

Решение:



Удар является центральным, абсолютно неупругим.

Запишем закон сохранения импульса для этого удара:

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}.$$

Из правила сложения векторов найдём:

$$(m_1\upsilon_1)^2 + (m_2\upsilon_2)^2 = (m_1 + m_2)^2 u^2 .$$

Запишем закон сохранения энергии для шаров. После удара механическая энергия системы сохраняется. Кинетическая энергия системы в момент удара перешла в кинетическую энергию слипшихся шаров, и произошли потери энергии из-за деформации шаров:

$$\frac{m_1\upsilon_1^2}{2} + \frac{m_2\upsilon_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} + \Delta E \Rightarrow \Delta E = \frac{m_1\upsilon_1^2}{2} + \frac{m_2\upsilon_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2}$$

Подставим выражение $(m_1 + m_2)u^2$ в ΔE и преобразуем его:

$$\Delta E = \frac{m_1\upsilon_1^2}{2} + \frac{m_2\upsilon_2^2}{2} - \frac{(m_1\upsilon_1)^2 + (m_2\upsilon_2)^2}{2(m_1 + m_2)} =$$

$$= \frac{(m_1\upsilon_1)^2 + (m_2\upsilon_2)^2 + m_1m_2\upsilon_1^2 + m_1m_2\upsilon_2^2 - (m_1\upsilon_1)^2 - (m_2\upsilon_2)^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_1m_2(\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2)}{2(m_1 + m_2)}$$

Ответ: $\Delta E = \frac{m_1m_2(\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2)}{2(m_1 + m_2)}$.

Выполните задания.

Задание 4.5.1. Ответьте на вопросы.

1. Какая система называется замкнутая?
2. Расскажите, как изменяются потенциальная и кинетическая энергия в замкнутой системе на примере свободно падающего тела?
3. Нарисуйте и объясните график зависимости полной энергии от расстояния.
4. Сформулируйте закон сохранения полной механической энергии.

Задание 4.5.2. Вставьте пропущенные слова в нужных формах.

Слова: трение, консервативный, взаимодействие, кинетический, работа, неконсервативный, полный, потенциальный, сопротивление, движение.

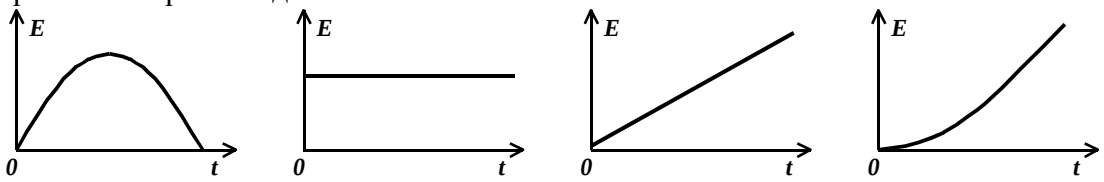
1. Кинетическая энергия – это энергия …… .
2. Потенциальная энергия – это энергия …… .
3. Величину, равную половине произведения массы тела на квадрат его скорости, называют …… энергией.
4. Тело, которое движется, обладает кинетической энергией и способно совершать ……..
5. Сумма кинетической и потенциальной энергии материальной точки – это …… механическая энергия точки.
6. При перемещении материальной точки или тела по замкнутой траектории работа …… сил равна нулю.
7. При перемещении материальной точки или тела по замкнутой траектории работа …… сил не равна нулю.
8. К неконсервативным силам относятся силы …… и силы ……..

Задание 4.5.3. Выберите правильный вариант ответа.

1. Что называется полной механической энергией?
   (А) кинетическая энергия тела E_k
   (Б) потенциальная энергия тела E_p
   (В) сумма кинетической и потенциальной энергии $E = E_k + E_p$

2. Полная механическая энергия остается постоянной для …
   (А) любой системы тел
   (Б) замкнутой системы тел
   (В) незамкнутой системы тел

3. Тело, которое бросили под углом к горизонту, движется по параболе. Какой из графиков на рисунке соответствует графику зависимости полной механической энергии E от времени движения тела t?



1 2 3 4

(А) 1 (Б) 2 (В) 3 (Г) 4

4. Мяч бросают вертикально вверх. В момент броска (у поверхности Земли) его кинетическая энергия равна 20 Дж. Чему будут равны потенциальная и кинетическая энергии мяча в наивысшей точке подъема?
   (А) $E_k = -20$ Дж, $E_p = 40$ Дж
   (Б) $E_k = 20$ Дж, $E_p = 0$ Дж
   (В) $E_k = 0$ Дж, $E_p = 20$ Дж

5. Птица массой 2 кг летит со скоростью 2 м/с на высоте 200 м над поверхностью Земли. Чему равна полная механическая энергия птицы?
   (А) 4008 Дж (Б) 4004 Дж (В) 404 Дж (Г) 400 Дж

6. Камень брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 20 Дж. Какую кинетическую энергию будет иметь камень в верхней точке траектории полёта? Сопротивлением воздуха пренебречь.
   (А) 0 Дж (Б) 10 Дж (В) 20 Дж (Г) 40 Дж

7. Камень брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 30 Дж. Какую потенциальную энергию относительно поверхности земли будет иметь камень в верхней точке траектории полёта? Сопротивлением воздуха пренебречь.
   (А) 0 Дж (Б) 15 Дж (В) 30 Дж (Г) 60 Дж

8. Кинетическая энергия тела массой 1 кг, брошенного горизонтально на высоте 3 м от поверхности Земли, равна 20 Дж. Найдите полную механическую энергию тела в момент падения на Землю. Сопротивлением воздуха пренебречь. Потенциальную энергию тела на поверхности Земли принять равной нулю.
   (А) 20 Дж (Б) 50 Дж (В) 80 Дж (Г) 100 Дж

Задание 4.5.4. Решите задачу.
Найдите кинетическую энергию тела массой 400 г в момент падения на землю, если тело упало с высоты 2 м.

Задание 4.5.5. Решите задачу в тетради.
Тело массой 10 кг свободно падает с высоты 80 м. Найдите кинетическую энергию тела на высоте 20 м над Землёй и в момент падения на Землю.

Задание 4.5.6. Решите задачу в тетради.
Парашютист массой 70 кг прыгнул с вертолёта, который неподвижно висел в воздухе. Пролетев 150 м до раскрытия парашюта, парашютист приобрел скорость 40 м/с. Найдите работу силы сопротивления воздуха на этом пути.

[49 кДж]

Задание 4.5.7. Решите задачу в тетради.
Тело массой 2 кг при скорости 9 м/с начинает двигаться по инерции по горизонтальной поверхности. Определите работу силы трения, совершаемую с начала этого движения, если скорость тела уменьшилась в 3 раза.

[72 кДж]

Задание 4.5.8. Решите задачу в тетради.
Тело массой 1 кг бросают вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с. Какова начальная кинетическая энергия тела? Какова потенциальная энергия тела на максимальной высоте? Каково значение максимальной высоты подъёма? Потерями энергии пренебречь.

[200 Дж; 200 Дж; 20 м]

Задание 4.5.9. Решите задачу в тетради.
Мяч бросили вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какую высоту поднимется мяч, если его масса равна 100 г? На какую высоту поднимется мяч вдвое меньшей массы? Потерями энергии пренебречь.

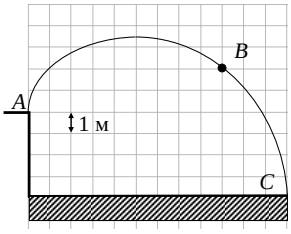
Задание 4.5.10. Решите задачу в тетради.
На горизонтальной плоскости лежит кубик массой 100 г. Кубик пробивает пуля массой 10 г, которая летит вертикальной вниз. При этом скорость пули меняется со 100 до 95 м/с. На какую высоту подпрыгнет кубик?

[4,875 м]

Задание 4.5.11. Решите задачу в тетради.
Тело массой 2 кг, брошенное с уровня земли вертикально вверх, упало обратно на Землю. Перед ударом о Землю тело имело кинетическую энергию 100 Дж. С какой скоростью тело было брошено вверх? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Задание 4.5.12. Решите задачу в тетради.
Камень брошен вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какой высоте кинетическая энергия камня равна его потенциальной энергии?

Задание 4.5.13. Решите задачу в тетради.
Мальчик бросил камень массой 100 г под углом к горизонту из точки *A*. На рисунке в некотором масштабе изображена траектория *ABC* полета камня. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. В точке *B* траектории модуль скорости камня был равен 8 м/с. Какую кинетическую энергию имел камень в точке *C*?

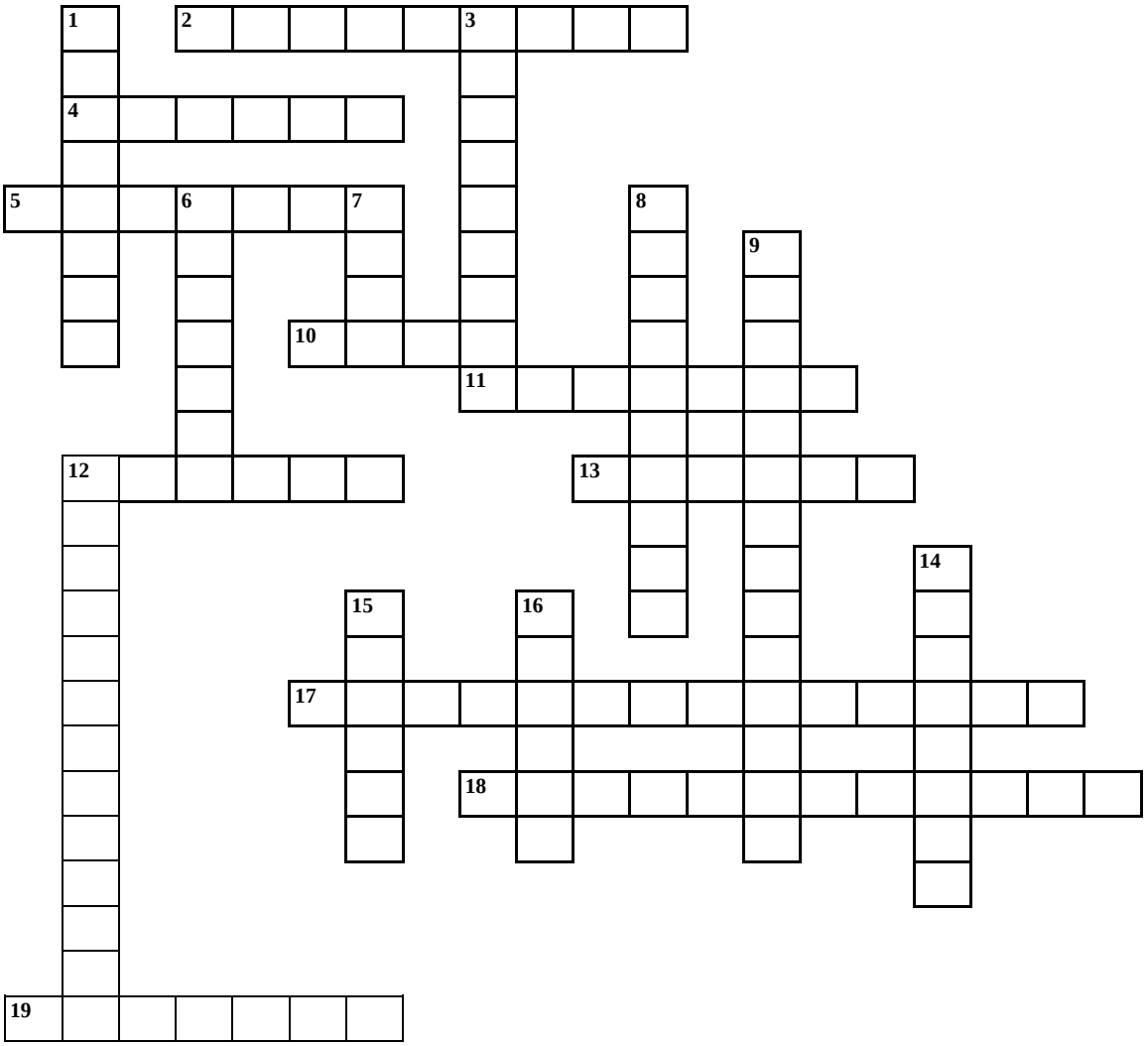


Задание 4.5.14. Разгадайте кроссворд на тему «Динамика материальной точки. Работа и энергия».

По горизонтали: 2. Деформация, в результате которой после прекращения действия силы тело сохраняет новую форму или размеры. **4.** Единица измерения силы в системе СИ. **5.** Векторная физическая величина, которая равна произведению массы тела на его скорость. **10.** Единица измерения мощности в системе СИ. **11.** Способность тела сохранять скорость при отсутствии действия на него других тел. **12.** Вид траектории движения тела при условии, что равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна нулю. **13.** Физическая величина, которая равна скалярному произведению силы на перемещение. **17.** Силы, работа которых не зависит от формы траектории, а зависит только от начального и конечного положения тела. **18.** Энергия, которой обладает тело в результате своего движения. **19.** Сила притяжения всех тел к Земле.

По вертикали: 1. Раздел физики, который изучает взаимодействие тел при механическом движении, причины и законы движения. **3.** Сила, которая появляется при деформации тела. **6.** Деформация, при которой после прекращения действия силы тело принимает первоначальные размеры и форму. **7.** Физическая величина, которая характеризует действие одного тела на другое или результат взаимодействия двух тел. **8.** Изменение формы, размера и объёма тела. **9.** Действие одного тела на другое или действие тел друг на друга. **12**. Энергия, которая определяется взаимным расположением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела. **14.** Работа, которую совершает сила за единицу времени. **15.** Единица измерения работы в системе СИ. **16.** Сила, которая возникает, когда одно тело движется по поверхности другого тела.

Кроссворд на тему «Динамика материальной точки. Работа и энергия»



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко Н.С. Пропедевтический курс физики для иностранных студентов / Н.С. Кравченко. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 561 с.
2. Кравченко Н.С. Пропедевтический курс физики для иностранных студентов: комплект рабочих тетрадей для изучения физики на русском языке / Н.С. Кравченко. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 289 с.
3. Чугунова И.С. Механика. Вводный курс. Кинематика / И.С. Чугунова, И.В. Мурсенкова, М.М. Нахабина. – Москва : Ред. Изд. Совет МОЦ МГ, 2003. – 186 с.
4. Перышкин А.В. Физика 7 класс : учебник / А.В. Перышкин. – Москва : Дрофа, 2013. – 192 с.
5. Грачёв А.В. Физика. 7 класс : учебник для учащихся общеобразовательных учреждений / А.В. Грачёв, В.А. Погожев, А.В. Селиверстов. – Москва : Вентана-Граф, 2010. – 288 с.
6. Мякишев Г.Я. Физика. 10 класс : учебник / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. – Москва : Просвещение, 2010. 366 с.
7. Сборник задач по физике. 10–11 класс / сост. Г.Н. Степанова. – Москва : Просвещение, 2000. – 220 с.
8. Рымкевич А.П. Сборник задач по физике / А.П. Рымкевич. – Москва : Дрофа, 2002. – 224 с.
9. Трофимова Т.И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.
10. Детлаф А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – Москва : Высшая школа, 2001. – 718 с.
11. Касьянов В.А. Физика. 10 класс. Профильный уровень : учебник для общеобразовательных учреждений / В.А. Касьянов. – Москва : Дрофа, 2013. – 428 с.
12. Сдам ГИА: решу ЕГЭ : образовательный портал для подготовки к экзаменам: физика. – Режим доступа : https://phys-ege.sdamgia.ru/

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Приставки для образования десятичных и дольных единиц

Степень	Приставка	Обозначение
10^{18}	экса	Э
10^{15}	пета	П
10^{12}	тера	Т
10^{9}	гига	Г
10^{6}	мега	М
10^{3}	кило	к
10^{2}	гекто	г
10	дека	да
10^{-1}	деци	д
10^{-2}	санти	с
10^{-3}	милли	м
10^{-6}	микро	мк
10^{-9}	нано	н
10^{-12}	пико	п
10^{-15}	фемто	ф
10^{-18}	атто	а

Таблица 2

Значения тригонометрических функций

Значение / Функция	0°	30°	45°	60°	90°	120°	180°	270°	360°
$\sin\alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	0	–1	0
$\cos\alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	–1	0	1
$\mathrm{tg}\alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	–	$-\sqrt{3}$	0	–	0
$\mathrm{ctg}\alpha$	–	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	–	0	–

Таблица 3

Физические постоянные

Ускорение свободного падения	g = 9,81 м/с^2
Гравитационная постоянная	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2
Универсальная газовая постоянная	R = 8,31 Дж/(моль·К)
Число Авогадро	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Электрическая постоянная	$8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Постоянная в законе Кулона	$k = 1/(4\pi\varepsilon_o) = 9 \cdot 10^9$ м/Ф
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Планка	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Заряд электрона	$-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$0{,}91 \cdot 10^{-30}$ кг

Таблица 4

Физические величины и их единицы измерения

Физическая величина	Обозначение физической величины	Единица измерения	Обозначение физической величины
Кинематика материальной точки			
Время	t	секунда	с
Путь	S	метр	м
Скорость	υ	метр в секунду	м/с
Ускорение	a	метр на секунду в квадрате	м/с^2
Высота	H, h	метр	метр
Угловая скорость	ω	радиан в секунду	рад/с
Угловое ускорение	ε	радиан на секунду в квадрате	рад/с^2
Период	T	секунда	с
Частота	ν	герц	Гц
Динамика материальной точки			
Масса	m	килограмм	кг
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м^3
Сила	F	ньютон	Н
Импульс	p	килограмм-метр в секунду	кг·м/с
Работа и энергия			
Работа	A	джоуль	Дж
Мощность	N	ватт	Вт
Энергия	E	джоуль	Дж

Учебное издание

ЗЫКОВА Анна Петровна
ЧЕРКАСОВА Татьяна Викторовна
КОРОЛЬКОВА Яна Владимировна

ФИЗИКА

Часть 1

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *О.Ю. Аршинова*
Дизайн обложки *А.И. Сидоренко*

Подписано к печати 15.06.2020. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать CANON. Усл. печ. л. 20,82. Уч.-изд. л. 18,83.
Заказ 81-20. Тираж 100 экз.

Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ