








# СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |   |     |
|--|----|---|-----|
| Введение .....   | 5  | Закон изменения и сохранения импульса .....   | 58  |
|  МЕХАНИКА ..... | 6  | Работа силы на малом перемещении .....  | 60  |
| Кинематика .....   | 6  | Мощность силы .....   | 61  |
| Механическое движение .....  | 6  | Кинетическая энергия  |     |
| Материальная точка .....   | 7  | материальной точки .....  | 63  |
| Скорость материальной точки .....  | 9  | Потенциальная энергия .....   | 63  |
| Ускорение материальной точки .....   | 11 | Закон изменения и сохранения механической энергии .....   | 65  |
| Равномерное прямолинейное движение .....   | 12 | Механические колебания и волны .....  | 67  |
| Равноускоренное прямолинейное движение .....   | 13 | Важные понятия .....  | 67  |
| Свободное падение .....  | 15 | Период и частота колебаний .....  | 67  |
| Движение точки по окружности .....   | 18 | Гармонические колебания.  |     |
| Динамика .....   | 21 | Кинематическое описание .....   | 70  |
| Инерциальные системы отсчёта .....   | 21 | Вынужденные колебания .....   | 73  |
| Первый закон Ньютона .....   | 22 | Поперечные и продольные волны .....   | 75  |
| Принцип относительности Галилея .....  | 22 | Звук. Скорость звука .....  | 78  |
| Масса тела .....   | 23 |  МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА ..... | 80  |
| Плотность вещества .....   | 23 | Молекулярно-кинетическая теория .....   | 80  |
| Сила .....   | 24 | Основные положения .....  | 80  |
| Второй закон Ньютона для материальной точки в ИСО .....  | 26 | Модели строения твёрдых тел, жидкостей и газов .....  | 80  |
| Третий закон Ньютона для материальных точек .....  | 27 | Тепловое движение атомов и молекул вещества .....   | 82  |
| Закон всемирного тяготения .....   | 28 | Взаимодействие частиц вещества .....  | 82  |
| Движение небесных тел и их искусственных спутников .....   | 30 | Броуновское движение .....  | 83  |
| Деформация .....   | 33 | Диффузия .....  | 84  |
| Вес тела. Различия силы тяжести и веса тела .....  | 37 | Модель идеального газа в МКТ .....  | 84  |
| Векторная разность. Перегрузки и невесомость .....   | 38 | Основное уравнение МКТ .....  | 86  |
| Сила трения .....  | 40 | Абсолютная температура .....  | 87  |
| Применение законов Ньютона к решению задач .....   | 42 | Температура — мера средней кинетической энергии молекул .....   | 87  |
| Давление .....   | 43 | Уравнение $p = n \cdot k \cdot T$ .....   | 88  |
| Статика .....  | 45 | Модель идеального газа в термодинамике .....  | 88  |
| Основные понятия .....   | 45 | Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов .....   | 89  |
| Момент силы относительно оси вращения .....  | 45 | Изопроцессы в разреженном газе .....  | 90  |
| Условия равновесия твёрдого тела в ИСО .....   | 47 | Насыщенные и ненасыщенные пары .....  | 91  |
| Давление в жидкости, покоящейся в ИСО .....  | 49 | Влажность воздуха .....   | 93  |
| Атмосферное давление .....   | 51 | Изменение агрегатных состояний вещества .....   | 95  |
| Закон Паскаля .....  | 51 | Преобразование энергии в фазовых переходах .....  | 96  |
| Сообщающиеся сосуды .....  | 52 | Термодинамика .....   | 98  |
| Закон Архимеда .....   | 53 | Тепловое равновесие и температура .....   | 98  |
| Законы сохранения в механике .....   | 56 | Внутренняя энергия .....  | 98  |
| Важные понятия .....   | 56 | Теплопередача .....   | 100 |
| Импульс материальной точки .....   | 56 | Количество теплоты. Удельная теплоёмкость вещества .....  | 101 |
| Импульс системы тел .....  | 58 | Элементарная работа в термодинамике .....   | 103 |
|  |    | Первый закон термодинамики .....  | 104 |
|  |    | Второй закон термодинамики.   |     |
|  |    | Необратимость .....   | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| Принципы действия тепловых машин.   |     |
| КПД.....  | 105 |
| Уравнение теплового баланса.....  | 107 |
|  ЭЛЕКТРОДИНАМИКА.....                    | 108 |
| Электрическое поле.....   | 108 |
| Электризация тел и её проявления.....   | 108 |
| Взаимодействие зарядов.....   | 110 |
| Электрическое поле.....   | 111 |
| Принцип суперпозиции электрических полей.....   | 112 |
| Потенциальность электростатического поля.....   | 113 |
| Проводники в электростатическом поле..  | 115 |
| Диэлектрики в электростатическом поле.....  | 116 |
| Конденсатор.....  | 117 |
| Законы постоянного тока.....  | 121 |
| Сила тока.....  | 121 |
| Условия существования электрического тока.....  | 122 |
| Закон Ома для участка цепи.....   | 122 |
| Электрическое сопротивление.....  | 123 |
| Источники тока.....   | 125 |
| Закон Ома для полной (замкнутой) электрической цепи.....  | 125 |
| Соединение проводников.....   | 127 |
| Работа электрического тока.....   | 128 |
| Мощность электрического тока.....   | 129 |
| Свободные носители электрических зарядов в проводниках.....   | 132 |
| Полупроводники.....   | 133 |
| Магнитное поле.....   | 136 |
| Механическое взаимодействие магнитов..  | 136 |
| Магнитное поле проводника с током.....  | 139 |
| Сила Ампера, её направление и величина.....   | 140 |
| Сила Лоренца, её направление и величина.....  | 142 |
| Электромагнитная индукция.....  | 144 |
| Поток вектора магнитной индукции.....   | 144 |
| Явление электромагнитной индукции.....  | 145 |
| Закон электромагнитной индукции Фарадея.....  | 146 |
| ЭДС индукции в прямом проводнике длиной $L$ , движущемся со скоростью $v$ в однородном магнитном поле $B$ .....           | 147 |
| Правило Ленца.....  | 148 |
| Индуктивность.....  | 149 |
| Энергия магнитного поля катушки с током.....  | 150 |
| Электромагнитные колебания и волны.....   | 151 |
| Колебательный контур.....   | 151 |
| Вынужденные электромагнитные колебания.....   | 156 |
| Переменный ток.....   | 157 |
| Электромагнитные волны.....   | 159 |
| Оптика.....   | 162 |
| Прямолинейное распространение света.  |     |
| Луч света.....  | 162 |
| Закон отражения света.....  | 162 |
| Построение изображений в плоском зеркале.....   | 163 |
| Преломление света.....  | 164 |
| Полное внутреннее отражение.....  | 165 |
| Линзы.....  | 166 |
| Фотоаппарат как оптический прибор.....  | 169 |
| Глаз как оптическая система.....  | 170 |
| Интерференция света.....  | 171 |
| Дифракция света.....  | 173 |
| Дисперсия света.....  | 174 |
|  СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ..... | 175 |
| Понятия СТО.....  | 175 |
| Принцип относительности Эйнштейна.....  | 175 |
| Следствия постулатов Эйнштейна.....   | 176 |
| Энергия свободной частицы.....  | 177 |
| Импульс частицы.....  | 177 |
| Связь массы и энергии свободной частицы. Энергия покоя свободной частицы.....   | 177 |
|  КВАНТОВАЯ ФИЗИКА.....                 | 178 |
| Корпускулярно-волновой дуализм.....   | 178 |
| Гипотеза Планка о квантах.....  | 178 |
| Фотоны.....   | 178 |
| Фотоэффект.....   | 179 |
| Волновые свойства частиц.....   | 181 |
| Давление света.....   | 182 |
| Физика атома.....   | 183 |
| Планетарная модель атома.....   | 183 |
| Постулаты Бора.....   | 184 |
| Линейчатые спектры.....   | 185 |
| Лазер.....  | 185 |
| Физика атомного ядра.....   | 186 |
| Нуклонная модель ядра Гейзенберга — Иваненко.....   | 186 |
| Энергия связи нуклонов в ядре.  |     |
| Ядерные силы.....   | 186 |
| Дефект массы ядра.....  | 187 |
| Радиоактивность.....  | 188 |
| Закон радиоактивного распада.....   | 189 |
| Ядерные реакции.....  | 190 |

## ВВЕДЕНИЕ

Физика — наука о неживой природе, она объясняет явления, происходящие вокруг нас, выявляя закономерности и обобщая в законы природы, которые нельзя нарушить, в отличие, например, от законов юридических.

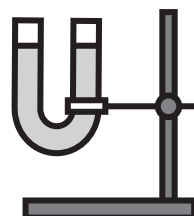
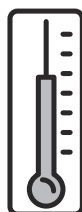
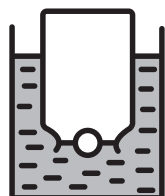
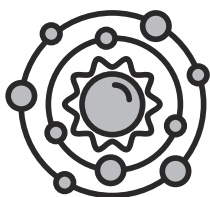
Физика — очень мудрая наука. Она включает в себя и понимание физических процессов, и умение их рассчитывать, и способность прогнозировать явления. Именно эти знания и возможности позволили человечеству заменить ручной труд огромным количеством машин, сделать близким и доступным каждому произведения искусства, библиотеки, средства связи.

Предлагаемое пособие составлено в соответствии с требованиями к единому государственному экзамену (ЕГЭ) по физике и предназначено для подготовки выпускников к экзамену. В разработке приведены основные сведения по общему курсу физики (в соответствии с кодификатором ЕГЭ), примеры типовых и нестандартных задач по вопросам, изучаемым в средней школе.

Краткость и наглядность изложения с использованием сравнения аналогичных процессов позволяют быстро и качественно повторить пройденный материал курса физики, а также на примерах освоить применение основных законов и формул.

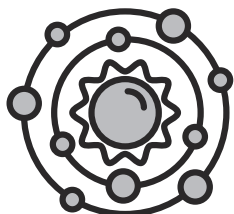
Пособие можно использовать и для повторения соответствующих тем учащимися 9–10 классов. Это позволит сориентировать будущих выпускников на экзамен по выбору. Девятиклассникам пособие поможет в подготовке к ОГЭ.

Желаем успехов!





# МЕХАНИКА



## КИНЕМАТИКА

**Кинематика** (от греч. *kinematos* — движение) изучает механическое движение тел, не рассматривая причины, которыми это движение вызывается. Задача кинематики — дать математическое описание движения тел.



## МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Механическим движением тела называют изменение его положения в пространстве относительно других тел с течением времени.

### ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ

Движение может быть двух видов: прямолинейным и криволинейным.

#### Прямолинейное движение

**Равномерное** — движение, при котором тело за равные промежутки времени проходит одинаковое расстояние.



В таблице представлена зависимость координат тела от времени.

|                |   |   |   |   |   |    |
|----------------|---|---|---|---|---|----|
| $t, \text{ с}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  |
| $x, \text{ м}$ | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |

**Неравномерное** — движение, при котором тело за равные промежутки времени проходит неодинаковое расстояние.



Тело за первые 10 мин проходит 30 м, а за следующие 10 мин — 40 м.

Один из видов неравномерного движения: **равнопеременное** — движение, при кото-

ром за равные промежутки времени скорость тела изменяется на одну и ту же величину.



Шарик уронили в воду с некоторой высоты. Первые 3 с шарик двигался равноускоренно, а после 3 с движение продолжалось с постоянной скоростью.

На рисунке показан график изменения координаты шарика с течением времени.

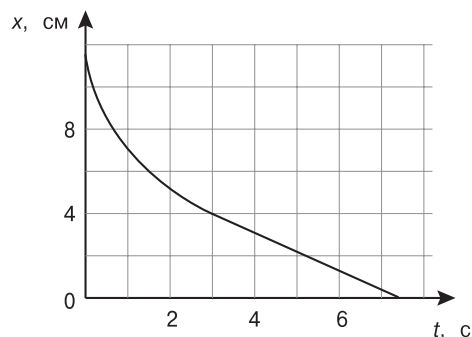


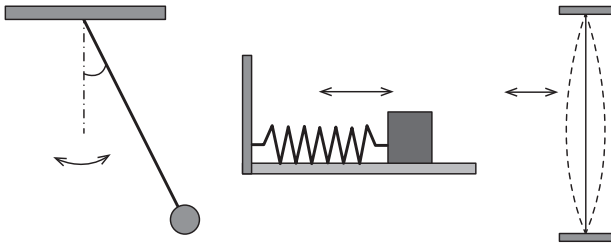
График изменения координаты шарика с течением времени, где  $x$  — координата тела,  $t$  — время движения



## Криволинейное движение

**Вращательное** — движение в одном направлении **по плоской** (или пространственной) **замкнутой** траектории. Примером может служить движение Земли вокруг Солнца.

**Колебательное** — движение вдоль одного и того же отрезка **с изменением направления**.



Колебательное движение

## ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Относительность механического движения — это зависимость траектории движения тела, пройденного пути, перемещения и скорости от выбора системы отсчёта.

### СИСТЕМА ОТСЧЁТА

**Тело отсчёта** — произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение движущейся материальной точки (или тела).

**Система отсчёта** — совокупность системы координат и часов, связанных с телом отсчёта. В прямоугольной системе координат положение точки в пространстве задаётся её проекциями на три взаимно перпендикулярные оси. Совокупность координат  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  в момент времени  $t$  определяет закон движения материальной точки в координатной форме.



## МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь, называется **материальной точкой**.

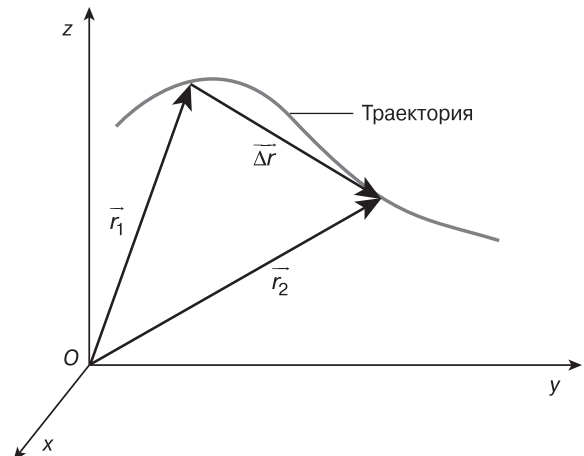


Решаются две задачи: рассчитать манёвр стыковки двух космических кораблей и вычислить период обращения космических кораблей вокруг Земли.

Только во втором случае космические корабли можно рассматривать как материальные точки, так как для стыковки кораблей важны их размеры.

### РАДИУС-ВЕКТОР, ТРАЕКТОРИЯ, ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, ПУТЬ

**Радиус-вектор**  $\vec{r}$  — вектор, соединяющий начало отсчёта с положением материальной точки в произвольный момент времени.



Траектория и перемещение.

$\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$  — радиус-векторы материальной точки в двух положениях.

Перемещение:  $\Delta \vec{r} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1) = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

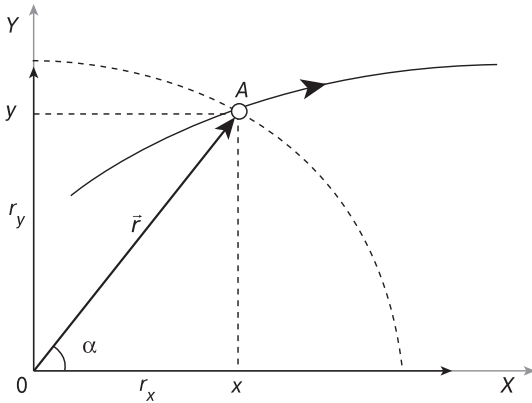
Координаты радиус-вектора:  $\vec{r} = (x(t), y(t), z(t))$

Модуль (длина) радиус-вектора:  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$



Координаты  $x$  и  $y$  связаны (см. рисунок) с  $r$  и  $\alpha$  следующими соотношениями:

$$\begin{cases} x = r \cos \alpha \\ y = r \sin \alpha \end{cases}$$



Связь радиус-вектора с координатами точки:  
 $r_x$  и  $r_y$  — проекции радиус-вектора на координатные оси,  $\alpha$  — угол наклона радиус-вектора к оси  $Ox$ ,  
 $x$ ,  $y$  — координаты точки  $A$  и радиус-вектора  $\vec{r}$

**Траектория** — линия, которую описывает тело (материальная точка) с течением времени, перемещаясь из одной точки в другую.

**Перемещение** — вектор, проведённый из начального положения материальной точки в конечное.

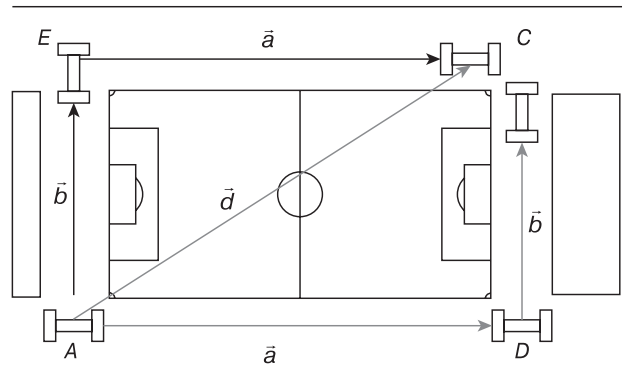
**Пройденный путь**  $s$  — длина участка траектории, пройденного материальной точкой за данный промежуток времени.

Для разных видов движения перемещение и пройденный путь вычисляются разными способами.

### СЛОЖЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

**Сложение перемещений** — результирующее перемещение, равное **векторной сумме** последовательных перемещений:

$$\vec{d} = \vec{a} + \vec{b}.$$



Сложение перемещений:

$\vec{a}$  — перемещение из точки  $A$  в точку  $D$ ,

$\vec{b}$  — перемещение из точки  $D$  в точку  $C$ ,

$\vec{d}$  — результирующее перемещение



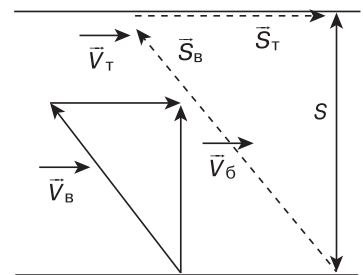
Лодка переплывает реку шириной 600 м, причём рулевой держит курс таким образом, что лодка всё время плывёт перпендикулярно берегам. Скорость лодки относительно воды 5 м/с, скорость течения реки 3 м/с. Через какое время лодка достигнет противоположного берега?

**Решение:**

Треугольник скоростей подобен треугольнику перемещений, поэтому

$$t = \frac{S}{V_6} = \frac{S}{\sqrt{V_B^2 - V_6^2}} = \frac{600 \text{ м}}{\sqrt{(5 \text{ м/с})^2 - (3 \text{ м/с})^2}} = 150 \text{ с.}$$

**Ответ:** через 150 с.



Результирующее перемещение:

$\vec{V}_B$  — скорость лодки относительно воды,

$\vec{V}_T$  — скорость течения,

$\vec{V}_6$  — скорость лодки относительно берега;

$\vec{S}_B$  — перемещение лодки относительно

воды,  $\vec{S}_T$  — перемещение течения,  $\vec{S}$  — перемещение лодки относительно берега



## СКОРОСТЬ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

**Средняя путевая скорость** — скалярная величина, равная отношению пути к промежутку времени, затраченному на его прохождение:

$V_{\text{ср}} = \frac{l}{t}$ , где  $V_{\text{ср}}$  — средняя путевая скорость,  $l$  — пройденный путь,  $t$  — время, затраченное на его прохождение.

Единица скорости — метр в секунду (**м/с**).



На рисунке представлен график зависимости пути  $S$  велосипедиста от времени  $t$ . Рассмотрим характер движения велосипедиста на каждом участке.

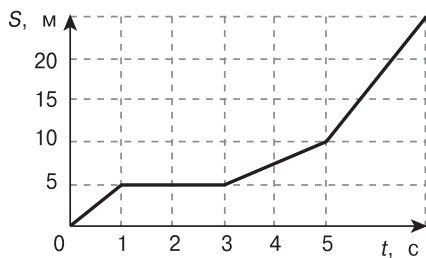


График движения велосипедиста



Скалярная величина — величина, которая не имеет направления и характеризуется только числовым значением (например, масса, мощность, температура).

От 0 до 1 с — движение равномерное со скоростью:  $V_1 = \frac{5 \text{ м}}{1 \text{ с}} = 5 \text{ м/с}$ .

От 1 до 3 с — велосипедист неподвижен.

От 3 до 5 с — движение равномерное со скоростью:

$$V_2 = \frac{(10 - 5) \text{ м}}{2 \text{ с}} = 2,5 \text{ м/с}.$$

От 5 до 7 с — движение равномерное со скоростью:

$$V_3 = \frac{(25 - 10) \text{ м}}{2 \text{ с}} = 12,5 \text{ м/с}.$$

На всём интервале времени можно определить среднюю скорость:

$$V_{\text{ср}} = \frac{25 \text{ м}}{7 \text{ с}} \approx 3,57 \text{ м/с}.$$

## МГНОВЕННАЯ СКОРОСТЬ

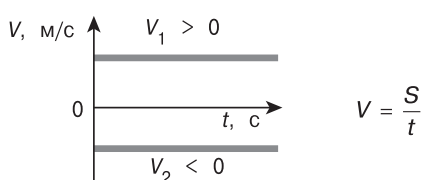
При уменьшении промежутка времени, за которое совершается перемещение, до минимального значения (мгновения) можно определить **мгновенную скорость**  $\vec{V}$  — скорость движения в данный момент вре-

мени — предел, к которому стремится средняя скорость на бесконечно малом промежутке времени  $\Delta t$ :

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}.$$

### Графики скорости

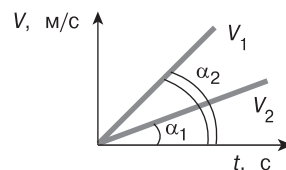
При равномерном движении



$$V = \frac{S}{t}$$

$\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$  направлены противоположно.

При равнопеременном движении



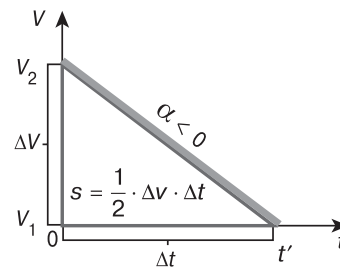
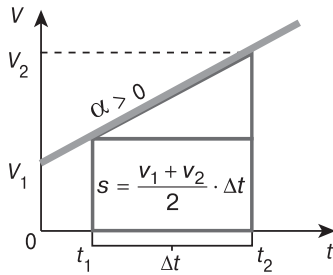
$$V = V_0 + a \cdot t$$

Чем больше угол наклона прямой скорости, тем больше ускорение тела.





### Определение перемещения по графику скорости



Площадь фигуры под графиком скорости равна пройденному пути.

Четыре тела движутся вдоль оси  $Ox$ . На рисунке изображены графики зависимости проекций скоростей  $V_x$  от времени  $t$  для этих тел.

Рассмотрим характер движения каждого тела. Тела 1, 2 и 3 движутся с положительным ускорением (разгоняются), причём с наименьшим ускорением разгоняется тело 3, а с наибольшим — тело 1. Тело 4 движется с отрицательным ускорением (тормозит).

Наибольшее по модулю ускорение имеет тело 1.

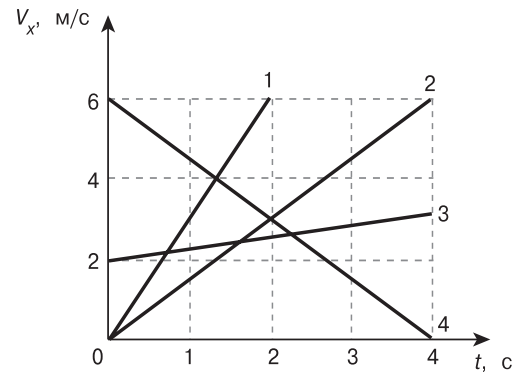
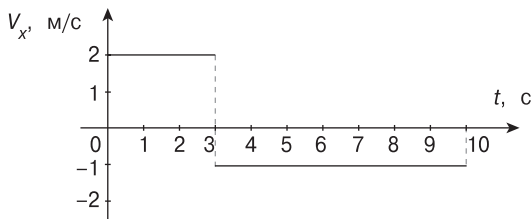


График движения четырёх тел

На графике изображена зависимость проекции скорости тела, движущегося вдоль оси  $Ox$ , от времени. Чему равен модуль перемещения тела к моменту времени  $t = 10$  с?



**Решение:**

Модуль перемещения тела равен площади фигуры под (над) графиком скорости:

$$s = 2 \text{ м/с} \cdot 3 \text{ с} - 1 \text{ м/с} \cdot 7 \text{ с} = -1 \text{ м.}$$

**Ответ:**  $s = -1 \text{ м.}$

### ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ

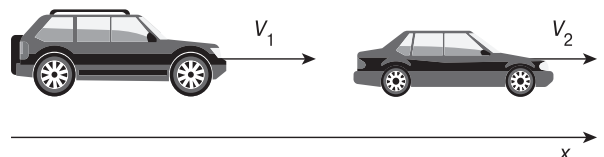
**Относительная скорость** — скорость одной материальной точки в системе отсчёта, связанной с другой. Относительная скорость равна векторной разности скоростей этих тел:

$$\vec{V}_{21} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1.$$

**Частные случаи определения относительной скорости**

При движении тел в одном направлении модуль относительной скорости равен разности скоростей:

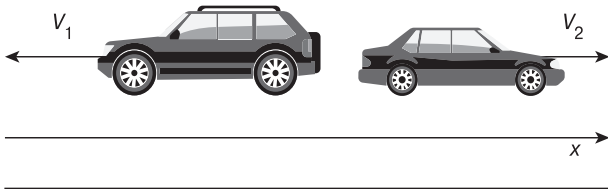
$$V_{21} = V_2 - V_1.$$





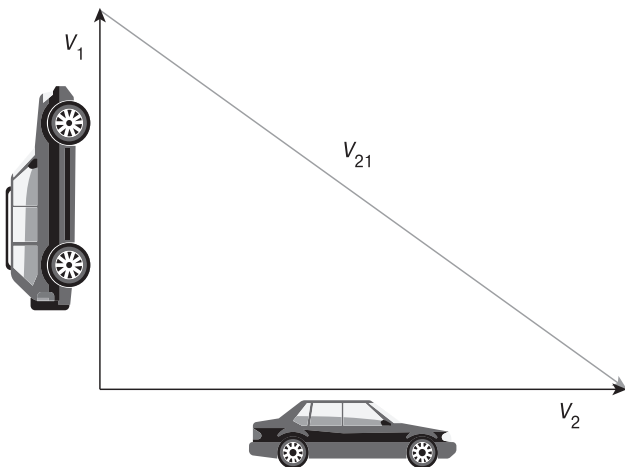
При движении тел в противоположных направлениях они удаляются или сближаются с относительной скоростью, равной сумме их скоростей:


$$V_{21} = V_2 + V_1.$$



При движении под прямым углом относительная скорость вычисляется по теореме Пифагора:

$$V_{21} = \sqrt{V_2^2 + V_1^2}.$$



 Два автомобиля движутся по прямому шоссе: первый — со скоростью  $v$ , второй — со скоростью  $(-3v)$ . Какова скорость второго автомобиля относительно первого?

**Решение:**

Случай встречного движения:


$$V_{21} = V_2 + V_1 = v + 3v = 4v.$$

**Ответ:**  $V_{21} = 4v$ .

### СЛОЖЕНИЕ СКОРОСТЕЙ

**Правило сложения скоростей:** скорость тела в неподвижной системе отсчёта  $\vec{V}_1$  равна векторной сумме скорости тела в подвижной системе отсчёта  $\vec{V}_2$  и скорости подвижной системы отсчёта относительно неподвижной  $\vec{V}_{21}$ :

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_2 + \vec{V}_{21}.$$

 Пловец движется по течению реки. Чему равна скорость пловца относительно берега реки, если скорость пловца относительно воды  $1,5$  м/с, а скорость течения реки  $0,5$  м/с?

$$V_1 = 1,5 \text{ м/с} + 0,5 \text{ м/с} = 2 \text{ м/с}.$$

**Ответ:**  $V_1 = 2$  м/с.



## УСКОРЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Ускорение является физической величиной, характеризующей изменение скорости с течением времени.

### МГНОВЕННОЕ УСКОРЕНИЕ

**Мгновенное ускорение**  $\vec{a}$  — векторная физическая величина, равная пределу отношения изменения скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло:

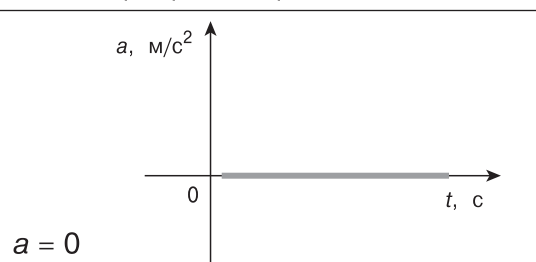
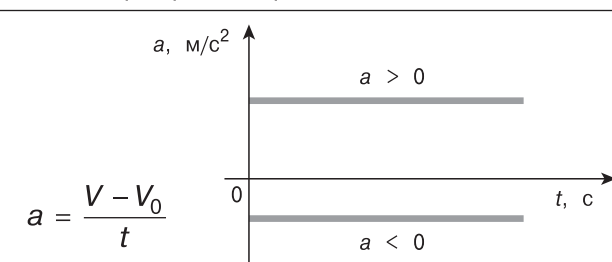
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}.$$

Единица ускорения — метр в секунду в квадрате ( $\text{м/с}^2$ ).

При прямолинейном ускоренном движении тела вектор ускорения параллелен (сонаправлен) вектору скорости:  $\vec{a} \parallel \vec{V}$ .



## Графики и формулы ускорения

| При равномерном движении  | При равнопеременном движении   |
|---|--|
|  <p><math>a = 0</math></p> |  <p><math>a = \frac{V - V_0}{t}</math></p> |



Мальчик на санках съезжает равноускоренно по прямой со снежной горки. Скорость санок в конце спуска 10 м/с. Время спуска 20 с. Каково ускорение движения мальчика на санках? Спуск начинается из состояния покоя.

**Дано:**

$$V_0 = 0$$

$$V = 10 \text{ м/с}$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$$a = ?$$

**Решение:**

$$a = \frac{V - V_0}{t};$$

$$a = \frac{10 \text{ м/с} - 0}{20 \text{ с}} = 0,5 \text{ м/с}^2.$$

**Ответ:**  $a = 0,5 \text{ м/с}^2$ .



## РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

**Равномерное прямолинейное движение** — движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные расстояния.



СИ — международная система единиц физических величин, современный вариант метрической системы. Все расчёты в физике ведутся в СИ.

**Скорость:**

$$v = \frac{S}{t},$$

где  $S$  — пройденный путь,  $t$  — время движения.

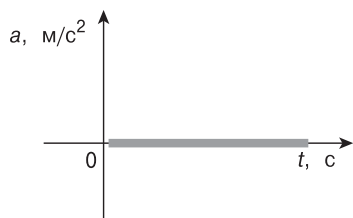
$V > 0$ , если направление движения совпадает с осью  $Ox$  (см. линию  $V_1$ );

$V < 0$ , если направление движения противоположно направлению оси  $Ox$  (см. линию  $V_2$ ).

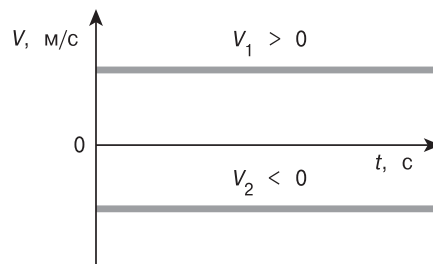
## Формулы и графики равномерного прямолинейного движения

**Ускорение:**

$$a = 0$$



$a$  — ускорение,  $t$  — время

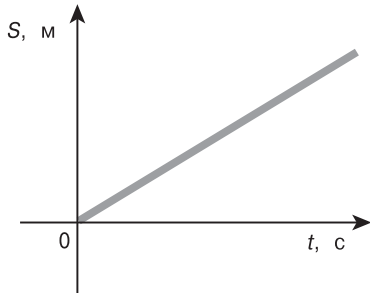


$v$  — скорость,  $t$  — время

**Перемещение:**

$$S_x = v_x \cdot t,$$

где  $v_x$  — проекция скорости на ось  $Ox$ ,  
 $t$  — время движения.

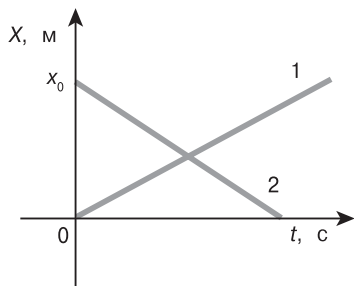


$S$  — пройденный путь,  $t$  — время движения

**Закон движения:**

$$X = x_0 + v_x \cdot t,$$

где  $x_0$  — начальная координата тела,  $v_x$  — проекция скорости на ось  $Ox$ ,  $t$  — время движения.



$x_0$  — начальная координата тела,  $v_x$  — проекция скорости на ось  $Ox$ ,  $t$  — время движения

Прямая 1 — график движения тела, выходящего из начала координат и движущегося вдоль оси  $Ox$ .

Прямая 2 — график движения тела, находящегося в начальный момент в точке с координатой  $x_0$ , движущегося противоположно направлению оси  $Ox$  и возвращающегося в начало координат.

Координата тела меняется с течением времени согласно закону  $x = 4 - 2t$ , где все величины выражены в СИ.

Нарисуем график зависимости проекции скорости движения тела от времени.

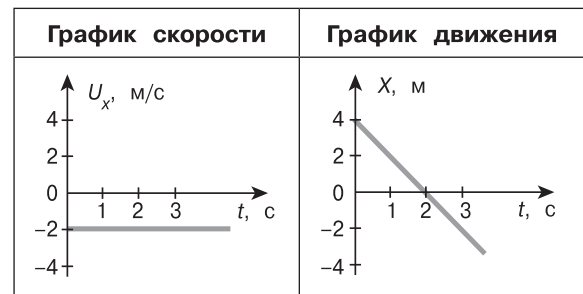
Сопоставляя коэффициенты в уравнении движения:

$$\begin{cases} X = x_0 + V_x t \\ X = 4 - 2t \end{cases}, \text{ имеем:}$$

$$\begin{cases} x_0 = 4 \\ V_x = -2 \text{ м/с} \end{cases}$$

Для построения графика можно начертить таблицу, как в алгебре.

|     |   |   |
|-----|---|---|
| $t$ | 0 | 2 |
| $X$ | 4 | 0 |

**РАВНОУСКОРЕННОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ**

**Равнопеременное движение** — движение, при котором за любые равные промежутки времени материальная точка изменяет свою скорость на одну и ту же величину. При таком движении ускорение материальной точки  $a = \text{const}$ .

Примеры равноускоренного движения: ракета при запуске спутника, пуля в стволе автомата, свободно падающее тело.

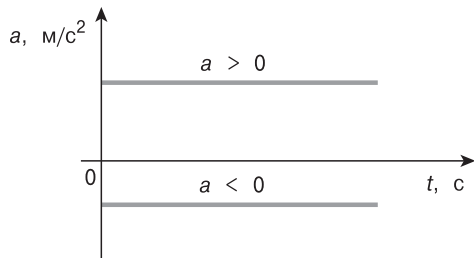


## Формулы и графики равноускоренного прямолинейного движения

### Ускорение:

$$a = \frac{V - V_0}{t},$$

где  $V_0$  и  $V$  — начальная и конечная скорости тела,  $t$  — время движения.

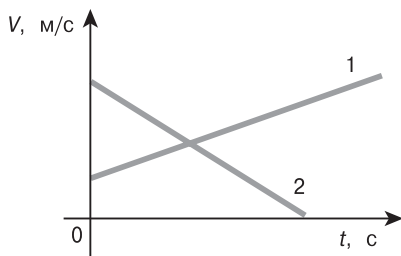


$a$  — ускорение,  $t$  — время

При  $a > 0$  (см. рисунок) скорость возрастает, при  $a < 0$  (см. рисунок) скорость убывает.

### Скорость:

$$v = v_0 + a \cdot t$$



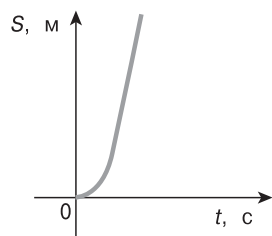
$v$  — скорость,  $t$  — время

Тело 1 движется с возрастающей скоростью (разгоняется), тело 2 — с убывающей скоростью (тормозит).

### Перемещение:

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

$$S_x = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot a}$$

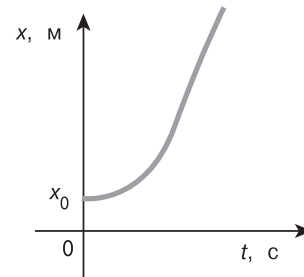


$S$  — пройденный путь (перемещение),  $t$  — время

### Закон движения:

$$X = x_0 + V_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2},$$

где  $x_0$  — начальная координата тела,  $a_x$  — проекция ускорения на ось  $Ox$ ,  $t$  — время движения.



$x$  — координата тела,  $x_0$  — начальная координата,  $t$  — время



Зависимость координаты от времени для некоторого тела описывается уравнением  $x = 8t - t^2$ , где все величины выражены в СИ. В какой момент времени скорость тела равна нулю?

### Решение:

Сопоставляя коэффициенты в уравнении движения:

$$\begin{cases} X = x_0 + V_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}, \\ x = 8t - t^2 \end{cases}$$

$$\text{имеем: } \begin{cases} x_0 = 0 \\ V_0 = 8 \text{ м/с} \\ \frac{a_x}{2} = -1 \text{ м/с}^2, a_x = -2 \text{ м/с}^2 \end{cases}.$$


По определённым величинам запишем уравнение скорости:

$$V = v_0 + a \cdot t = 8 - 2 \cdot t$$

и приравняем её к нулю (по условию):  $V = 8 - 2 \cdot t = 0$ , откуда  $t = 4$  с.

**Ответ:**  $t = 4$  с.



 Начальная скорость автомобиля, движущегося прямолинейно и равноускоренно, равна 5 м/с. Его конечная скорость через 10 с равна 25 м/с. Какой путь прошёл автомобиль за это время?

**Дано:**

$$V_0 = 5 \text{ м/с}$$

$$V = 25 \text{ м/с}$$

$$t = 10 \text{ с}$$

$$l = ?$$

**Решение:**

$$l = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot a}; \quad a = \frac{V - V_0}{t};$$

$$a = \frac{25 \text{ м/с} - 5 \text{ м/с}}{10 \text{ с}} = 2 \text{ м/с}^2;$$

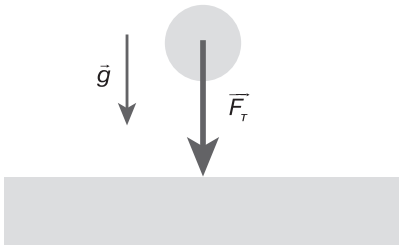
$$l = \frac{(25 \text{ м/с})^2 - (5 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 2 \text{ м/с}^2} = 150 \text{ м.}$$

**Ответ:**  $l = 150 \text{ м.}$



## СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ

**Свободное падение** — движение, которое совершает тело под действием только силы тяжести, без учёта силы сопротивления.



Векторы силы тяжести  $\vec{F}_T$  и ускорения свободного падения  $\vec{g}$

### УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Все тела независимо от их массы в отсутствие силы сопротивления воздуха падают на Землю с одинаковым ускорением, называемым **ускорением свободного падения**. Впервые это утверждение экспериментально было доказано Галилео Галилеем.

Идеальное свободное падение возможно лишь в вакууме, где нет силы сопротивления воздуха, и независимо от массы, плотности и формы все тела падают одинаково быстро, то есть в любой момент времени тела имеют одинаковые мгновенные скорости и ускорения.

### Ускорение свободного падения

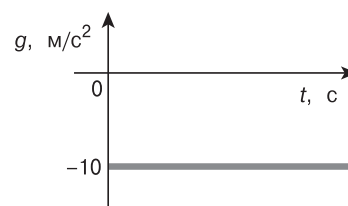
- всегда направлено к центру Земли;
- приблизительно равно  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;
- при решении задач, если не требуется высокая точность результата, принимают  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

Поскольку Земля сплюснута на полюсах, то значение ускорения свободного падения на полюсах больше, а на экваторе меньше.

### Формулы и графики свободного падения

**Ускорение:**

$$g \approx 9,81 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2$$

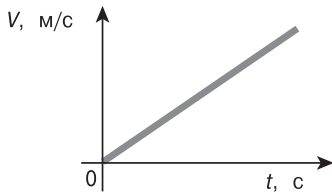


$g$  — ускорение свободного падения,  $t$  — время

**Скорость:**

$$v = v_0 + g \cdot t,$$

где  $v_0$  и  $v$  — начальная и конечная скорости тела,  $g$  — ускорение свободного падения,  $t$  — время движения.



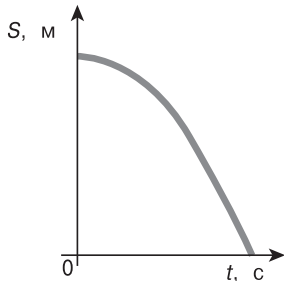
$v$  — скорость тела,  $t$  — время

**Перемещение:**

$$S_x = \frac{g \cdot t^2}{2},$$

$$S_x = \frac{v_k^2}{2 \cdot g},$$

где  $v_k$  — конечная скорость тела,  $g$  — ускорение свободного падения,  $t$  — время движения.

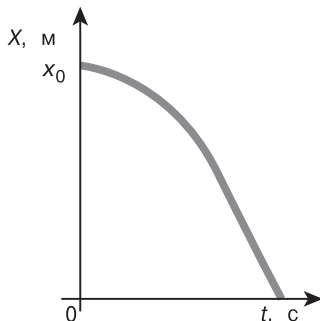


$S$  — пройденный путь (перемещение),  $t$  — время

**Закон движения:**

$$X = x_0 + \frac{g \cdot t^2}{2},$$

где  $x_0$  — начальная координата тела,  $g$  — ускорение свободного падения,  $t$  — время движения.



$X$  — координата тела,  $x_0$  — начальная координата,  $t$  — время

Ось  $Ox$  направлена вертикально вниз.



От высокой скалы откололся и стал свободно падать камень. Какую скорость он будет иметь через 3 с от начала падения?

**Дано:**

$$V_0 = 0 \text{ м/с}$$

$$t = 3 \text{ с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$V = ?$$

**Решение:**

$$V = g \cdot t;$$

$$V = 10 \text{ м/с}^2 \cdot 3 \text{ с} = 30 \text{ м/с}.$$

**Ответ:**  $V = 30 \text{ м/с}.$

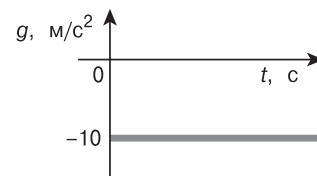
### ОДНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ ПРИ НАЛИЧИИ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ

Брошенный вверх мяч вплоть до высшей точки подъёма движется **равнозамедленно**, а вниз движется **равноускоренно**. Но в целом его движение является **равномерным**, так как при движении и вверх, и вниз его ускорение остаётся постоянным (равным  $g$ ).

**Графики и формулы движения в поле тяжести при наличии начальной скорости**

**Ускорение:**

$$g \approx -9,81 \text{ м/с}^2 \approx -10 \text{ м/с}^2$$



**Скорость:**

при движении вверх  $V = V_{0y} - g \cdot t;$

при движении вниз  $V = V_{0y} + g \cdot t.$

