

И.А. Попова

# ФИЗИКА

НАГЛЯДНЫЙ ШКОЛЬНЫЙ КУРС:



Москва  
2024

УДК 373:53  
ББК 22.3я721  
П58

**Попова, Ирина Александровна.**  
П58 Физика / И. А. Попова. – Москва : Эксмо, 2024. – 192 с. – (Наглядный школьный курс: удобно и понятно).

ISBN 978-5-699-92611-4

В пособии в наглядной и доступной форме приводятся сведения за весь школьный курс физики, основные законы, понятия и определения, формулы.

Издание окажет помощь выпускникам средней школы при подготовке к урокам, различным формам текущего и промежуточного контроля, а также для подготовки к экзаменам.

**УДК 373:53  
ББК 22.3я721**

ISBN 978-5-699-92611-4

© Попова И.А., 2017  
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2024

# 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.

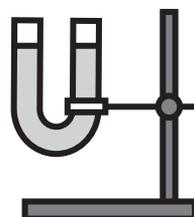
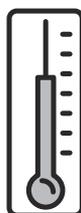
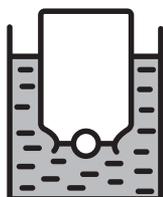
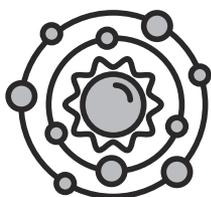
Физика — очень мудрая наука. Она включает в себя и понимание физических процессов, и умение их рассчитывать, и способность прогнозировать явления. Именно эти знания и возможности позволили человечеству заменить ручной труд огромным количеством машин, сделать близким и доступным каждому произведения искусства,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

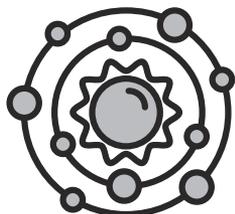
Пособие можно использовать и для повторения соответствующих тем учащимися 9–10 классов. Это позволит сориентировать будущих выпускников на экзамен по выбору. Девятиклассникам пособие поможет в подготовке к ОГЭ.

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.

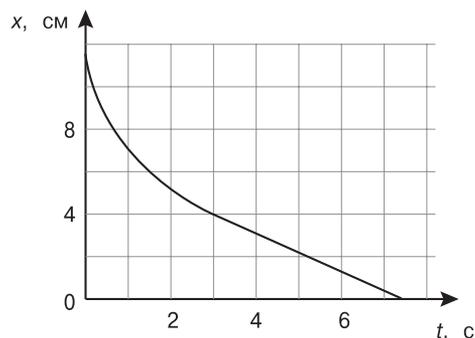


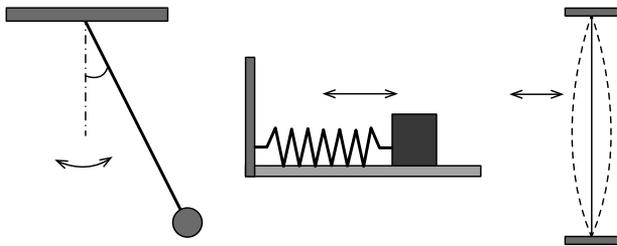
График изменения координаты шарика с течением времени, где  $x$  — координата тела,  $t$  — время движения



## Криволинейное движение

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

**Колебательное** — это движение, которое полностью или практически полностью повторяется с течением времени.



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**.

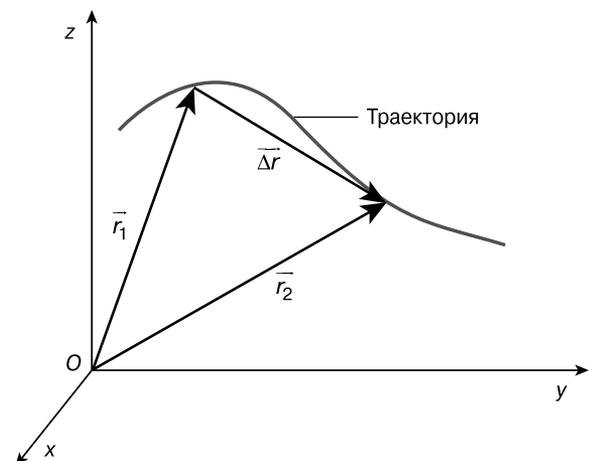


Решаются две задачи: рассчитать манёвр стыковки двух космических кораблей и вычислить период обращения космических кораблей вокруг Земли.

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

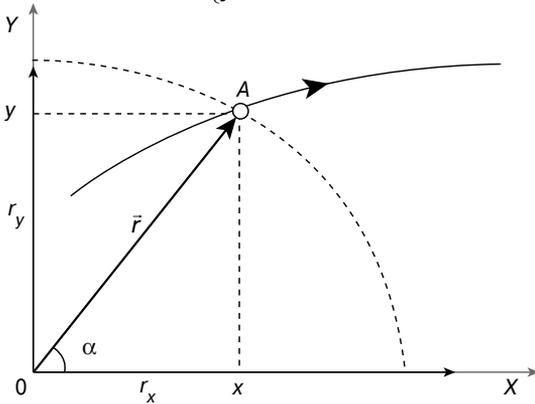
Координаты радиус-вектора:  $\vec{r} = (x(t), y(t), z(t))$

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.

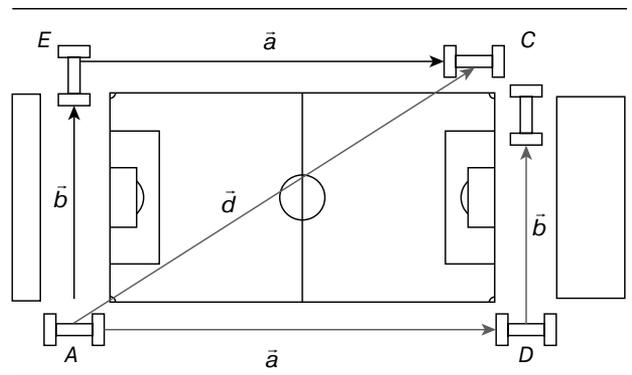
**Пройденный путь  $S$**  — длина участка траектории, пройденного материальной точкой за данный промежуток времени.

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



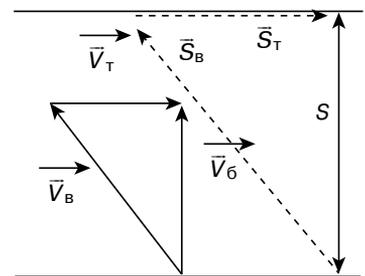
Лодка переплывает реку шириной 600 м, причём рулевой держит курс таким образом, что лодка всё время плывёт перпендикулярно берегам. Скорость лодки относительно воды 5 м/с, скорость течения реки 3 м/с. Через какое время лодка достигнет противоположного берега?

**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,  $\vec{S}_6$  — перемещение лодки относительно берега



## СКОРОСТЬ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

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

$V_{\text{ср}} = \frac{S}{t}$ , где  $V_{\text{ср}}$  — средняя путевая скорость,  $S$  — 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.

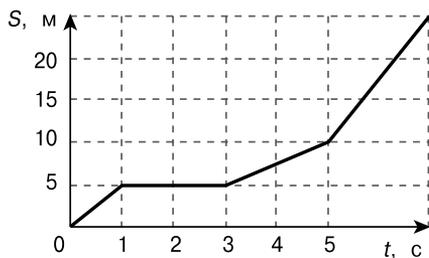


График движения велосипедиста



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

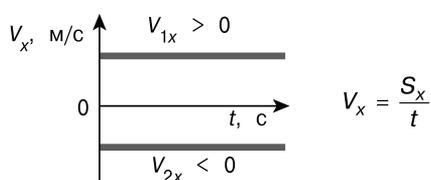
При уменьшении промежутка времени, за которое совершается перемещение, до минимального значения (мгновения) можно определить **мгновенную скорость**  $\vec{V}$  — скорость движения в данный момент вре-

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

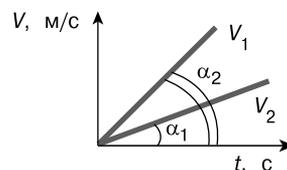
При равномерном движении



$$V_x = \frac{S_x}{t}$$

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

При равнопеременном движении



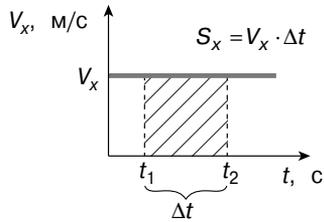
$$V = V_0 + a \cdot t$$

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

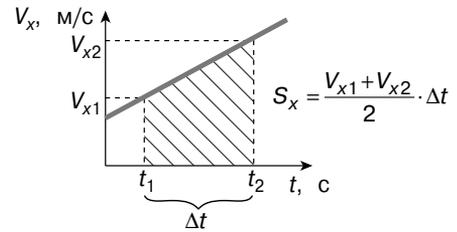


### Определение пути по графику скорости

При равномерном движении



При равнопеременном движении



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.

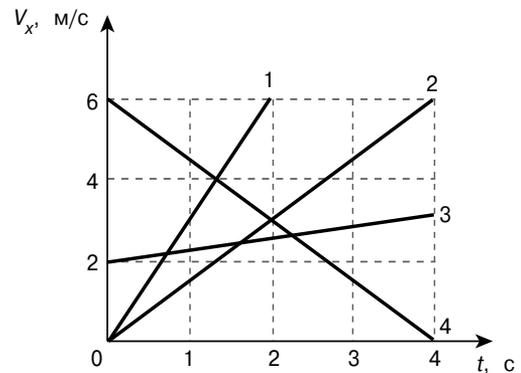
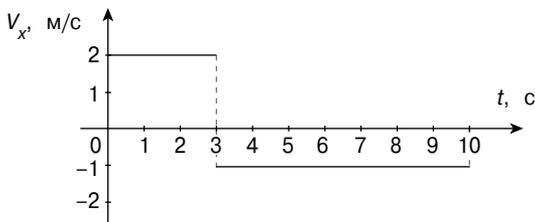


График движения четырёх тел

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

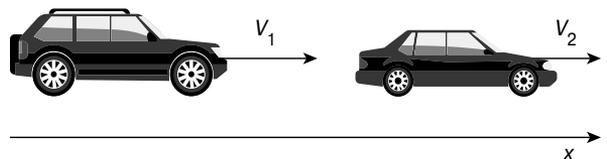
**Относительная скорость** — скорость одной материальной точки в системе отсчёта, связанной с другой. Относительная скорость равна векторной разности скоростей этих тел:

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

**Частные случаи определения относительной скорости**

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

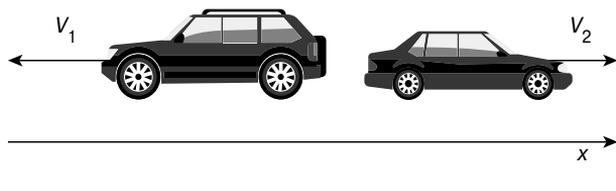
$$V_{21} = V_2 - V_1.$$





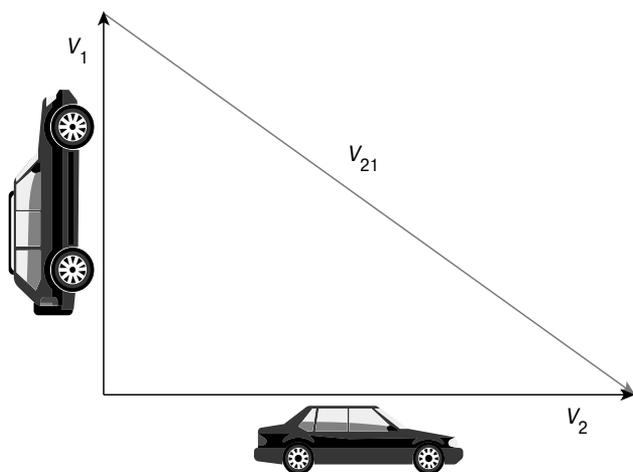
При движении тел в противоположных направлениях они удаляются или сближаются с относительной скоростью, равной сумме их скоростей:

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



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 в противоположных направлениях со скоростями  $v_1 = v$  и  $v_2 = 3v$ . Определите модуль скорости 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:**  $V_1 = 2 \text{ м/с}$ .



## 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_x = \frac{V_x - V_{0x}}{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.

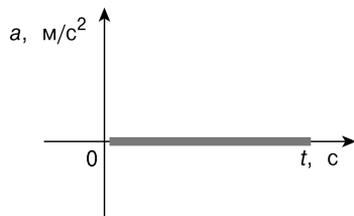


СИ — международная система единиц физических величин, современный вариант метрической системы. Все расчёты в физике ведутся в СИ.

### Формулы и графики равномерного прямолинейного движения

**Ускорение:**

$$a = 0$$



$a$  — ускорение,  $t$  — время

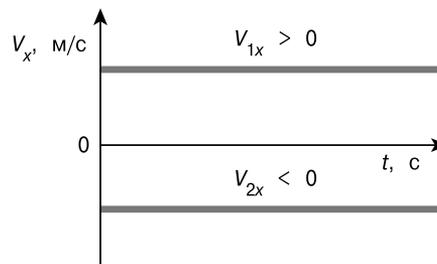
**Скорость:**

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

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

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

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

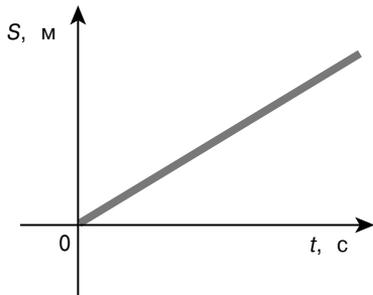


$v_x$  — проекция скорости,  $t$  — время

**Путь:**

$$S = v \cdot t,$$

где  $v_x$  — скорость,  $t$  — время движения.

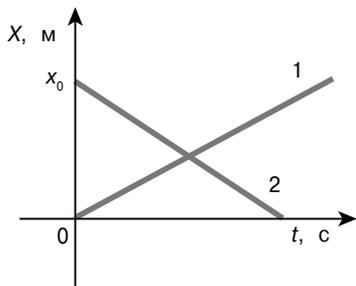


$S$  — пройденный путь,  $t$  — время движения

**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.

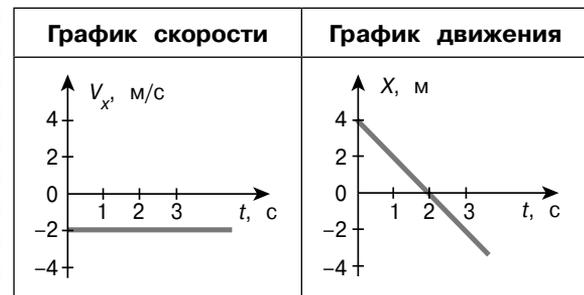
Сопоставляя коэффициенты в уравнении движения:

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

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

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.

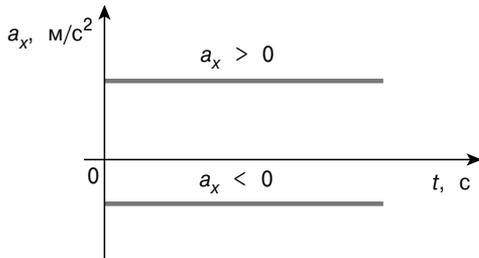


## Формулы и графики равноускоренного прямолинейного движения

### Ускорение:

$$a = \frac{v - v_0}{t},$$

где  $v_0$  и  $v$  — начальная и конечная скорости тела,  $t$  — время движения.

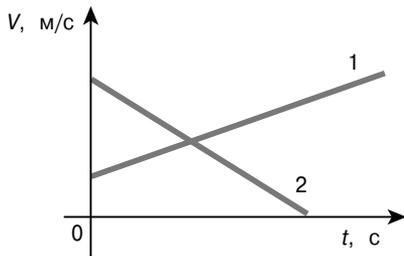


$a_x$  — проекция ускорения,  $t$  — время

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

### Скорость:

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



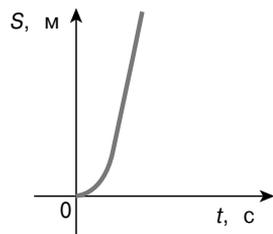
$v$  — скорость,  $t$  — время

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

### Путь:

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

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

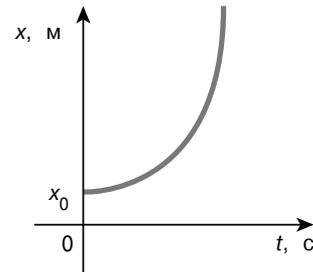


$S$  — пройденный путь (перемещение),  $t$  — время

### 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,  $v_{0x}$  — проекция начальной скорости на ось  $Ox$ .



$x$  — 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:

$$V_x = v_{0x} + a_x \cdot t = 8 - 2 \cdot t$$

и приравняем её к нулю (по условию):

$$V_x = 8 - 2 \cdot t = 0, \text{ откуда } t = 4 \text{ с.}$$

**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:**

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

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

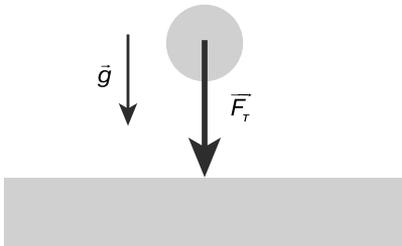
$$l = \frac{(25 \text{ м/с})^2 - (5 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 2 \text{ м/с}^2} = 150 \text{ м.}$$

**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

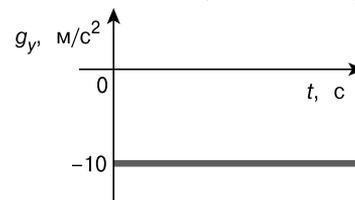
- всегда направлено к центру Земли;
- приблизительно равно 9,81 м/с<sup>2</sup>;
- при решении задач, если не требуется высокая точность результата, принимают  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

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

### Формулы и графики свободного падения

**Ускорение:**

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



$g_y$  — проекция ускорения свободного падения на ось  $Oy$ ,  $t$  — 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.